

**INCONEL 718 MALZEMESİNİN TORNALAMA İŞLEMİNDE YÜKSEK  
BASINÇLI JET SOĞUTMANIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME  
KUVVETLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ahmet ÇİNİ**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN**

**Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK ( 2. DANIŞMAN )**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**

**HAZİRAN 2010**

Bu tez çalışması 108M380 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

**AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**INCONEL 718 MALZEMESİNİN TORNALAMA İŞLEMİNDE YÜKSEK  
BASINÇLI JET SOĞUTMANIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME  
KUVVETLERİNE ETKİSİ**

**Ahmet ÇİNİ**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN**

**Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK ( 2. DANIŞMAN )**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI**

**HAZİRAN 2010**

## ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN ve Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK danışmanlıklarında, Ahmet ÇİNİ tarafından hazırlanan “ Inconel 718 Malzemesinin Tornalama İşleminde Yüksek Basıncılı Jet Soğutmanın Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi” başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

05/07/2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı, Soyadı

İmzası

Başkan	Doç.Dr. Kubilay ASLANTAŞ
Üye	Yrd.Doç.Dr. İsmail UCUN
Üye	Yrd.Doç.Dr. Oğuz ÇOLAK
Üye	Yrd.Doç.Dr. Ahmet ÇETKİN
Üye	Yrd.Doç.Dr. Nihat YILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

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

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	iv
TEZ ÖZETİ	vi
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Inconel 718'in İşlenebilirliğini Ele Alan Çalışmalar	2
2.2 Inconel 718'in YBJS Yardımıyla İşlenebilirliğini Ele Alan Çalışmalar	3
3. GENEL BİLGİLER	6
3.1 Süper Alaşımlar	6
3.1.1 Süper Alaşımların Sınıflandırılması	9
3.1.1.1 Demir Esaslı Süper Alaşımlar	9
3.1.1.2 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar	9
3.1.1.3 Alüminyum Esaslı Süper Alaşımlar	10
3.1.1.4 Magnezyum Esaslı Süper Alaşımlar	10
3.1.1.5 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar	11
3.2 Malzemelerin İşlenebilirliği	12
3.2.1 Talaşlı İmalat ve Talaş oluşumu	13
3.2.2 Talaş Tipleri	16
3.3 Kesme Kuvvetleri	17
3.4 Yüzey Pürüzlülüğü	20
3.4.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü	21
3.4.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü	21
3.4.3 Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	22
3.4.4 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	22
3.4.4.1 Kesme Parametrelerinin Etkileri	23

3.4.4.2 Kesici Takım Aşınmasının Etkisi	23
3.4.4.3 Kesme Kuvvetlerinin Etkisi	24
3.4.4.4 İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi	24
4. MATERYAL VE METOT	25
4.1 Deney Malzemesi	25
4.2 Kesici Takım	25
4.3. Yüksek Basınç Jet Soğutma (YBJS) Sisteminin Yapısı	27
4.4 YBJS de kullanılan soğutma sıvısı	28
4.5 Tornalama işleminin yapıldığı CNC Torna ve Özellikleri	29
4.6. Yüzey Pürüzlülük Cihazı	31
4.7 Dinamometre	31
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	33
5.1. Kesme kuvvetleri	33
5.1.1. Su basıncının ortalama kesme kuvvetlerine etkisi	34
5.1.2.İlerlemenin etkisi	36
5.2.Yüzey Pürüzlülüğü	38
5.2.1. İlerleme hızı ve basıncın Etkisi	38
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
6.1 Sonuçlar	39
6.2 Öneriler	40
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44

**TEZ ÖZETİ**  
**INCONEL 718 MALZEMESİNİN TORNALAMA İŞLEMİNDE YÜKSEK**  
**BASINÇLI JET SOĞUTMANIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE KESME**  
**KUVVETLERİNE ETKİSİ**

Ahmet ÇİNİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

2.Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK

Bu çalışmada, havacılık ve uzay endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip nikel esaslı süper alaşım olan Inconel 718 malzemesinin yüksek basınçlı jet soğutma koşulları altında işlenebilirliği incelenmiştir. Deneylede bilgisayar kontrollü bir torna tezgâhı kullanılmış olup, PVD kaplamalı karbür kesici takımlar tercih edilmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi ile farklı soğutma su basınçları ( 6, 100, 200 ve 300 bar ) kesme işleminde kullanılmıştır. Ayrıca tornalama işleminde 2mm sabit kesme derinliği ve farklı ilerleme oranları ( 0.1, 0.125, 0.15, 0.175 ve 0.2 mm/dev ) tercih edilmiştir. Farklı su basınçları ve ilerleme oranları ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Teğetsel ve ilerleme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü artarken, soğutma suyu basıncının artmasıyla kesme kuvvetleri belirli bir miktar azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tornalama, Kesme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Inconel 718, Yüksek Basınçlı Soğutma.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF HIGH PRESSURE JET COOLING ON SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING FORCES IN TURNING INCONEL 718 MATERIAL

Ahmet ÇİNİ

Afyon Kocatepe University,  
Institute for the Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Education

Advisor: Assist. Prof. İsmail UCUN  
2nd. Advisor: Assist. Prof. Oğuz ÇOLAK

In this study, the aerospace industry has a large area of nickel-based super alloy Inconel 718 high-pressure jets of material workability under cooling conditions are investigated. A computer-controlled lathes used in the experiments, and PVD-coated carbide cutting tools are preferred. High-pressure jet coolant cooling system with different pressures (6, 100, 200 and 300 bar) is used in the cutting process. In addition, the process of turning 2mm constant depth of cut and different progression rates (0.1, 0.125, 0.15, 0.175, and 0.2 mm / rev) were chosen. With different water pressure and feed rate, cutting forces and surface roughness were obtained. Tangential and feed forces were measured by a dynamometer. Studies in progress with increasing shear forces and increased surface roughness, cutting forces increase the pressure of cooling water, a certain amount has decreased.

**Key words:** Turning, Cutting Force, Surface roughness, Inconel 718, High Pressure Cooling.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince her konuda desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince benden bilgi ve deneyimlerini hiçbir zaman esirgemeyen 2. danışmanım ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda katkılardan dolayı Arş. Gör. Lokman YÜNLÜ'ye, Gökhan Güven BATIR'a, Kadir KIRAN'a, Süleyman DEMİRAĞ'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarında makine ve teçhizat kullanımında katkılarından dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi CAD/CAM Araştırma merkezi yöneticisi ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmama maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a, malzeme konusunda yardımlarını esirgemeyen TAI Uçak Motorları AŞ, soğutma sıvısı temininde yardımcı olan BLASER- SWISSLUBE firmasına teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her zaman yol gösteren ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### 1. Simgeler

$F_t$	Esas kesme kuvveti
$F_f$	İlerleme kuvveti
$F_r$	Pasif kuvvet
$N_s$	Normal sürtünme kuvveti
$F_s$	Teğetsel sürtünme kuvveti
$N_c$	Normal kayma kuvveti
$R$	Bileşke kuvvet,
$a'$	Deforme olmuş talaş derinliği,
$\alpha$	Talaş açısı,
$\phi$	Kayma açısı,
$\mu$	Sürtünme katsayısı,
$T$	Takım ömrü,
$V$	Kesme hızı,
$a$	Talaş derinliği,
$f$	İlerleme,
$n$	Taylor takım ömrü sabiti,
$r$	Takım burun (uç) yarıçapı,
$V_B$	Yan Yüzey(Yanak) aşınması,
$Ni$	Nikel
$Ra$	Ortalama pürüzlülük değeri.

## 2. Kısaltmalar

BUE	Built up edge (Talaş yığılması),
PVD	Physical vapor deposition ( kesici takım kaplama yöntemi )
YBSS	Yüksek Basınçlı Soğutma Sistemi
HPC	High Pressure Cooling
Hv	Whikers sertlik,
HRc	Rockvel sertlik,
TSE	Türk Standartları Enstitüsü,
DIN	Alman standardı,
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
s	Saniye,
min	Dakika,
mm	Milimetre
m	Metre,
dev	Devir,

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Talaş oluşumu	14
Şekil 2. 2. Talaş oluşumu ve deformasyon bölgeleri	16
Şekil 2. 3 a) Sürekli talaş, b) Süreksiz talaş, c) Dilimli talaş, d) Yığıntı talaş	16
Şekil 2. 4 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (DeGarmo et al, 1997).	18
Şekil 2.5 Ortogonal kesme modelinde kesme kuvvetleri bileşenleri (Şahin 2003).	18
Şekil 2.6 Takım/talaş arayüzünde meydana gelen sürtünme düzlemi	19
Şekil 2.7 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi	22
Şekil 2.8 İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri (Çakır 1999)	24
Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan Inconel 718 malzemesinin geometrik özellikleri	25
Şekil 4.4 Kistler 9757-A modeli dinamometre	32
Şekil 5.1 Elde edilen kesme kuvvetlerinin tam zamanlı grafiği	33
Şekil 5.2 Elde edilen kesme kuvvetlerinin birim zamandaki değişimi	34
Şekil 5.3 Kesme kuvvetlerinin su basıncına bağlı olarak değişimi	35
Şekil 5.4 Kesme kuvvetlerinin ilerleme hızlarına göre değişimi	37
Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişimi-P6	38

## RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa no
Resim 4.5 Yüzey pürüzlülük cihazı	31
Resim 4.2.a Homojen Kesme Sıvısı Karışımı sağlayan JetMix sistemi	
b) Kesme Sıvısı Karışımı oranı ölçümünde kullanılan Refraktometre	29
Resim 4.4 YBJSS sisteminin CNC Torna Tezgahına montajı	30
Resim 4.5 Yüzey pürüzlülük cihazı	31
Resim 5.1 Farklı soğutma su basınçlarına bağlı olarak elde edilen talaş biçimleri	
a) P6 b) P100 c) P200 d) P300	36

## TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 4.1 Inconel 718'in kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)	25
Tablo 4.2 Inconel 718'in mekanik özellikleri (TUSAŞ, 2009)	25
Tablo 4.3 Deneylerde kullanılan kesici uç' a ait geometrik boyutlar	26
Tablo 4.4 Yüksek basınç lülesinin özellikleri	27
Tablo 4.5 Yüksek Basınç Jet Soğutma sisteminin elemanları ve teknik Özellikleri	28
Tablo 4.6 CNC Torna tezgâhına ait teknik bilgiler	30

## 1.GİRİŞ

Süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda büyük mekanik gerilmelere ve yüzey yapısı değişimlerine karşı üretilmiş ısı direnci yüksek, demir-nikel, nikel, alüminyum, magnezyum ya da kobalt esaslı alaşımlardır.

Nikel esaslı süper alaşımlar havacılık sektöründe son zamanlarda büyük bir kullanım alanına sahip olmuştur. Ayrıca endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunun nedenleri arasında bu alaşımların yüksek sıcaklık direncine sahip olması ve çok yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını koruyabilme özellikleri sayılabilir.

Buna karşılık bu alaşımların işlenmesi konusunda önemli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların nedenleri arasında yüksek ısı gerilim, sertlik, kesici takım üzerine kaynama eğilimi ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu sayılabilir. Bu problemin çözüm yollarından biri de yüksek basınçlı jet soğutmadır. Bu yöntemde iş parçası ve kesici takım ara yüzüne doğrudan püskürtülen yüksek basınçlı kesme sıvısı, hem talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklığı düşürür hem de talaşları kesici takımdan uzaklaştırarak takım-talaş ara yüzü alanını azaltır. Bununla birlikte kesici uç'ta oluşan sıcaklık düşürülerek bundan kaynaklanan aşınma problemleri de azaltılabilecektir. Kesici takımdaki iyileşmelere paralel olarak kesme kuvvetlerinde düşüş ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında ilk olarak tornalama işleminde soğutma amaçlı yüksek basınçlı bir jet soğutma sistemi kurulmuştur. Farklı su basınçları ve ilerleme hızlarına bağlı olarak Inconel 718 süper alaşım malzemesi tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Su basınçları ve ilerleme hızlarına bağlı olarak kesme kuvvetleri ( ilerleme ve teğetsel ) bir dinamometre ile ölçülmüştür. Deney parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Inconel 718 süper alaşım malzemesini işlemek için kullanılan çok katmanlı kaplamalı karbürler yerine daha ucuz olan tek katmanlı karbür takımlarında yüksek basınçlı jet soğutma yardımıyla kullanılabileceği görülmüştür.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Inconel 718'in İşlenebilirliğini Ele Alan Çalışmalar

Rahman vd. tarafından yapılan çalışma ile farklı takım geometrisi ve farklı değerlerdeki kesme parametreleri kullanılarak Inconel 718 malzemesi soğutmasız ortamda tornada talaş kaldırma deneylerine tabi tutulmuştur. Kullanılan parametreler 30, 40, ve 50 m/min'lik kesme hızları, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/rev. İlerleme ve 2 mm sabit talaş derinliğidir. Kesici takımda oluşan yanak aşınması, is parçası yüzey pürüzlülük durumu ve kesme kuvvet elemanları takım ömrü için performans belirleyicisi olarak görülmüştür. Deneylerde \_ki farklı kalitede kesici takım (K tipi PVD T\_N kaplı karbür ile çok katlı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CVD kaplı sementit karbür ) kullanılarak yan kenar kesme açısının etkileri çalışılmıştır. Her iki kesici takım için yan kenar kesme açısının -50 'den 450'ye yükseltilmesi ile takım ömrünün arttığı görülmüştür. Büyük yan kenar kesme açısı, aynı zamanda kesme kuvvetlerinin daha geniş kesici kenar üzerinde dağılmasına olanak tanımış aynı zamanda çentiği de azaltarak takım ömrü üzerinde olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür. Her iki kesici takım, 30 m/min. Kesme hızında, 0,2 mm/rev. ilerlemede 45°'lik yaklaşma açısı ile en iyi performansı ortaya koymuşlardır. Yapılan talaş kaldırma deneylerinde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CVD kaplamalı sementit karbür takımın denenmesi sonucunda, şiddetli çentik görülmüş ve denendiği bütün yaklaşma açılarındaki talaş kaldırma işlemlerinde Inconel 718 için uygun görülmemiştir. (Rahman vd 1997).

Abhay Bhatt vd., kaplamasız tungsten karbür (WC), tek katmanlı (TiAlN) PVD ve 3 katmanlı (TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) CVD takımlar kullanarak yaptıkları çalışmalarında, Inconel 718 süper alaşımını son işlem yüzey tornalamaya tabi tutmuşlardır. Deneylerde kesme parametreleri ( Vc; 50, 75, 100 m/dak. ) ilerleme; (f; 0.075, 0.1, 0.125 mm/dev) talaş kalınlığı 0.25mm alınarak takım aşınmaları incelenmiştir. Sonuç olarak düşük kesme parametrelerinde kaplamasız tungsten karbür (WC) takımın yaklaşık takım ömrü 33dk, tek katmanlı PVD kaplamalı takımın 20 dk, 3 katmanlı (TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) CVD takımın ise ortalama 7 dk lık takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür. Normal kesme parametrelerinde ise PVD kaplamalı kesici uç ortalama 10 dk lık takım ömrüne sahipken, kaplamasız tungsten karbür (WC)kesici uç 7 dk, 3 katmanlı

(TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) CVD kesici uç ise ortalama 9 dk takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür (AbhayBhatt vd.2009).

A. Chouldhury vd. tarafından yapılan çalışma ile Inconel 718' in kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar ile kesilmesinde, kesme kuvvetleri ve takım ömrü üzerindeki kesme değişkenlerinin (kesme hızı, kesme kuvveti ve talaş derinliği) etkileri incelenmiştir. Kullandıkları karbür takımların sekli 80° rhombik şekilli olup talaş kırıcısızdır. Bu kesiciler farklı kesme parametreleri ve kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ile optimize edilmiştir. Takım ömrü için yanak aşınması bir kriter olarak kabul edilip, kaplamalı ve kaplamasız takım ömrü elemanlarından kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta kaplamalı karbür takımların ömrü kaplamasız karbür takımların ömrü ile neredeyse aynı olduğunu belirtmişlerdir. 26-48 m/min' lik kesme hızlarında hem kaplamalı hem kaplamasız sementit karbür takımlar için takım ömrü bakımından belirli bir farklılık görülmediğini belirtmişlerdir. Daha yüksek kesme hızlarında, yüksek kırılma geriliminden dolayı V=50 m/min ile f=0,30 mm/rev ilerlemede kesme kuvvetlerinin artış gösterdiği görülmüştür. Kaplamalı takımların kullanışlılığı sadece, talaş derinliği 1 mm'yi geçtiği durumlarda görülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda Taylor' un takım ömrü denkleminde talaş derinliği elemanı, kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara nazaran daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca Inconel 718' in sementit karbür takımlar ile önerilen kesme hızlarında islenmesi esnasında aşırı yanak aşınması tespit etmişlerdir. (A. Chouldhury vd.1998).

## **2.2 Inconel 718'in YBJS Yardımıyla İşlenebilirliğini Ele Alan Çalışmalar**

A.K. Nandy vd. Ti-6Al-4V malzemesini HPC yardımıyla kaplamasız tungsten karbür uç kullanarak deneyler yapmış ve talaş morfolojisini incelemişlerdir. Deneylerde soğutma metodu olarak 5 lt/dk normal (konvansiyonel) soğutma, 71 bar, 100 bar ve 140 barlık 3 farklı HPC parametresi ve 3 farklı kesme hızı(90, 100 ve 111 m/dk) kullanılmıştır. Ayrıca HPC metodunda akışkan olarak katkısız ve su bazlı kesme sıvıları ayrı ayrı denenmiştir. Kesici uç olarak, kenar radüsü 33 nm ve boşluk açısı 6° olan kaplamasız mikro kristal yapıları K20 sınıfı uçlar seçilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda normal

soğutmada elde edilen talaşların uzun sarmal şekilde, HPC uygulamalarında ise basınç arttıkça talaşların daha kısa ve hilal şeklinde oluştuğu görülmüştür. Bunlara bağlı olarak HPC uygulamalarında takım aşınmalarında iyileşmeler ve takım ömründe artışlar elde edilmiştir. Normal soğutmada kesici uç ortalama 4.35 dk kullanılabilirken katkısız HPC de ortalama 5.3 dk, su bazlı HPC de ise 14.30 dk takım ömrü elde edilmiştir. Buna göre normal soğutmaya göre su bazlı HPC uygulamasında takım ömrü en az %250, üretilebilirlik neredeyse %50 arttırılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetleri de düşürülerek enerji sarfiyatı yapılmıştır.( A.K. Nandy vd. 2009)

L. N. Lo'pez de Lacalle vd. HPC metodunun talaşlı üretim işlemlerinde ne gibi avantajları olduğunu görmek için, İnconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerini delik delme ve tornalama işlemlerine tabi tutmuşlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda seramik kesici uçlar kullanmışlardır. Soğutma işlemlerinde 11 l/dk akış debili ve 11 mPa (110 bar) basınçlı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda normal soğutmaya göre HPC uygulamalarında işleme zamanının %50 ye varan oranda düştüğü ve normal soğutma metoduna göre HPC metodunda 2 kat daha fazla talaş kaldırıldığı görülmüştür (L. N. Lo'pez de Lacalle vd.2000).

Suresh Palanisamy vd. farklı basınçlı kesme sıvılarıyla Ti-6Al-4V süper alaşımını işlemiş ve talaş formuna etkisini incelemişlerdir. Deneylerde 6 bar lık normal basınç ve 90 bar lık yüksek basınç kullanılmıştır. Deneylerde 0,8 mm burun radüsü ve +15° boşluk açısına sahip S tipi kaplamasız tungsten karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 75 m/dk, talaş derinliği 2 mm, ilerleme hızı 0.25 mm/dev seçilmiştir. Basınç parametreleri değiştirilip diğer tüm parametreler sabitlenerek deneyler yapılmıştır. Normal basınçlı (6 bar) soğutucu ile kesici takım yeniyken talaşlar kısa, parlak ve ortalama uzunluğu 30 mm olan boru şeklinde talaşlar elde edilmiştir. Takım ömrünün sonuna doğru uzun (210mm) tüp şeklinde mat ve mavimsi renkli talaşlar elde edilmiştir. HPC (90 bar) metodu kullanıldığında takım yeniyken ortalama uzunluğu 5 mm olan düz yay şeklinde talaşlar elde edilmiştir. 10dk lik işlemeden sonra (ortalama uzunluğu 40 mm olan) rondela şeklinde helisel talaşlar elde edilmiştir. Normal basınçla yapılan kesme işleminde takım ömrü sadece 3.5 dk iken HPC metoduyla yapılan kesme işleminde takım ömrü 10dk dan daha fazla sürmüştür. Bu çalışmada ayrıca farklı kesme

şartları altında oluşan talaşların morfolojileri de incelenmiştir. Buna göre normal basınçlı kesme de oluşan talaş genişliğinin (shareband) HPC metoduyla elde edilenlerden daha düşük olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca testere şeklindeki talaş dişleri arasındaki mesafeler yeni takım ile ilk kesmeye başlandığı andan sonlara doğru mesafenin azaldığı görülmüştür. Buna göre HPC metoduyla elde edilen ortalama talaş kalınlığı ideal değer olan adıma çok yakın olduğu görülmüştür (Suresh Palanisamy vd.2009)

Ezugwu, Inconel 718 süper alaşımı kullanarak farklı kesme ve soğutma parametreleri ile deneysel çalışmalar yaparak, işlenebilirlik üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarda, kesici uç olarak kaplamalı karbür, seramik, PCD ve CBN kullanılmıştır. Soğutma metodu olarak normal soğutma, 110 bar, 150 bar ve 203 bar HPC metotları kullanılmıştır. Buna göre kaplamalı karbür takım kullanılarak HPC metoduyla (203 bar da) normal soğutma metoduna göre 7 kata yakın takım ömrü elde edilmiştir. Aynı malzeme ve kesme şartlarında seramik kesici uç kullanıldığında ise daha düşük takım ömrü elde edilmiştir. Araştırmacı seramiğin değişken kesme kuvvetlerine karşı daha mukavemsiz ve zayıf mekanik özelliğe sahip olmasından dolayı bu durumun olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında HPC metoduyla titanyum alaşımlarını işlemiş ve en iyi sonuçların kaplamalı karbür ve PCD uçlar kullanılarak elde edileceğini belirtmiştir. CBN ve seramik kesicilerin bu iş için pek tavsiye edilmeyeceğini yeterince iyi sonuçlar vermediğini söylemiştir (Ezugwu 2005)

(Ezugwu vd. PVD kaplamalı kesici takım kullanarak Inconel 718 süper alaşımını değişken basınçlı HPC metoduyla işleyerek, kesici takım ömrünü ve malzemenin yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Deneylerde 50 m/dk, 30 m/dk ve 20 m/dk kesme hızları ayrıca 0.25 mm/dev ve 0.3 mm/dev ilerleme hızları kullanılmıştır. Talaş derinliği olarak 2.5 ve 3 mm seçilmiş ve 110, 150 ve 203 bar basınçlı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda HPC metoduyla yapılan işleme de normal soğutmaya göre daha uzun takım ömrü elde edilmiştir. Buna göre 203 bar ve 50 m/dk deney parametrelerinde %740 a varan takım ömrü artışı elde edilmiştir (Ezugwu and Bonney 2004 )

(Courbon vd. İnconel 718 süper alaşımını HPC metodu kullanarak kaba tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Deneylerde uç radüsü 50nm ve ön boşluk açısı+7 ° olan PVD TiAlN kaplamalı karbür uç kullanmış ve talaş derinliği 2mm olarak sabitlenmiştir. Ayrıca 3 farklı nozzle çapı (0,25-0,3-0,4 mm), 3 farklı Soğutucu akışkan basıncı( 50, 90, 130 Mpa), 3 farklı kesme hızı (46, 57, 74 m/dk) ve 3 farklı ilerleme hızı (0,2-0,25-0,224 mm/dev) kullanılmıştır. Bu çalışmada işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, takım-talaş ara yüzü temas uzunluğu, talaş biçimi, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takımın maruz kaldığı ısı akışı incelenmiştir. Çok yönlü olan bu çalışma genel olarak yorumlandığında, uygun parametreler seçildiğinde kesme sıvısının basıncı artırıldığında çoğunlukla malzemenin işlenebilirliğinde iyileşmeler görülmektedir ( Courbon vd 2009)

### **3. GENEL BİLGİLER**

#### **3.1 Süper Alaşımlar**

Yapısı demir, nikel ya da kobalt olan nispeten yüksek miktarlarda krom, az miktarda da yüksek sıcaklıkta ergiyen molibden, volfram, alüminyum ve titanyum içeren alaşım olarak tanımlanabilir. Süper alaşımlar; çok yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını koruyan alaşımlardır. Bu kompleks alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda iyi korozyon ve oksidasyon direncine, yüksek sürtünme ve kopma dayanımına sahiptirler. Bu malzemeler, katı çözelti matrisi içerisinde ince dağılmış formda, değişik karbürler ve intermetalik fazlar içerirler. Malzemeler, 1000-1200° C arasında kullanılabilirdiği gibi 1300° C da kısa süreli olarak kullanılabilir. Alaşımda en iyi kullanım sıcaklığı, ergime sıcaklığının %80'i ( $0,8T_{erg}$ ) ve daha aşağı olduğu sıcaklıklardır. Süper alaşım, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans gerektiren uçak türbin motorlarında ve turbo şarjlarda kullanım için geliştirilmiştir (Altın 2005).

Bugün kullanılan süper alaşımların temeli, % 80 nikel ile % 20 krom alaşım olan ve 50 yıldan beri elektrikte direnç teli olarak kullanılan malzemedен esinlenerek geliştirilmiştir. Süper alaşım, ilk olarak 1940'lerde dikkate değer oksidasyon dayanımı ile sürünme ve kırılma geriliminden (creep rupture strength) ötürü (düşük miktarda titanyum ve alüminyum katılarak) kullanılmaya başlanmıştır (White 1986).

İlk üretilen süper alaşım, Nimonic 80' dir. Kısa bir süre sonra bu alaşım geliştirilerek Nimonic 80 A üretildi. Daha sonra bu da geliştirilerek % 20 kobalt ilavesi ile 50 ° C lik bir avantaj sağlayan ve Nimonic 80 A'ya nazaran daha fazla talebi olan ve türbin motor tasarımcılarının gereksinim duydukları yüksek sıcaklıklarda hizmet verecek Nimonic 90 üretildi. Taleplerin artmasıyla titanyum ve alüminyuma ilaveten molibden katılarak Nimonic 105 ve 115'in geliştirilmesiyle katı solüsyon gerilimine sahip alaşımlar elde edildi. 1940'ların sonunda Pratt and Whitney Aircraft ve General Electric Company şirketleri tarafından, Waspalloy ve M 252 adında iki önemli dövme süper alaşım geliştirildi ( Sims and Hagel 1972).

Dövme alaşımlar uçak motorlarında önemli yer tutmaktadır. Bu alaşımları takiben molibdenin katılımıyla katı solüsyon ve karbür formu daha da güçlendirildi. Geliştirilen Rene 45 ve 95 yüksek çökeltme takviyeli olup bu alaşımlar sık sık kaynak uygulamalarında kullanıldı (Ezugwu et all 1998).

Nikel esaslı ve demir kapsamlı Inconel 718 süper alaşımı, yüksek ısıl gerilim sağlamakta ve kaynak işlemlerinde meydana gelebilecek çatlamalara iyi bir dayanım göstermektedir. Incoloy 901 ise bir başka dayanıklı ve rağbet gören süper alaşımdır. Waspalloy ve Astroloy gibi talep edilen bu alaşımların en büyük uygulama alanları türbin diskleridir. Nikel esaslı süper alaşımlardaki programlı ilerleme, sadece bileşimdeki kompozisyonun bir fonksiyonu olarak değil, aynı zamanda eritme metodu, sıcak iş durumu ve ısıl işlemlerin optimizasyonu sonucunda elde edilmiştir.

Süper alaşımların en önemli özellikleri; 650 °C'nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve erozyona dayanıklılıklarıdır. Nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda (1500-1650 °C) yüksek dayanıma sahiptirler. Nikel esaslı süper alaşımlardan Rene 95, 760 °C' de 1100 Mpa ve Udimet 700, 870 °C'de 635 Mpa akma dayanımına ayrıca sırasıyla % 15 ve % 27 uzama oranına sahiptirler. Kobalt esaslı S-816 süper alaşımı ise 870 °C'de 240 Mpa akma dayanımına ve %16 uzama oranına sahiptir. Bundan dolayı süper alaşımlar birçok alaşım çeşidinin yerine kullanılmaktadır. Bunların arasında krom ve nikel içeren demir

esaslı alaşımlar, demir, nikel, krom, kobalt bileşikleri, karbür takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, katı solüsyon takviyeli bazı alaşımlar, çökeltme ve dağılım takviyeli nikel esaslı alaşımlar bulunmaktadır.

Süper alaşımlar, işleyerek veya döküm yöntemiyle şekillendirilerek kullanılabilir. Genellikle demir esaslı alaşımların, demir, nikel, krom, kobalt bileşiklerin ve nikel esaslı katı solüsyon takviyeli alaşımların 650 °C'nin üstündeki sıcaklıklardaki dayanımları, nikel esaslı ikinci safha takviyeli ve kobalt esaslı alaşımlardan önemli derecede daha düşüktür. %16 Cr, %25 Ni ve % 6 Mo içeren 16-25-6 alaşımı gibi ilk demir esaslı süper alaşımlar ve küçük miktarlarda tungsten ile molibden içeren demir, nikel, krom, kobalt alaşımları (Fe - 20Ni - 20Cr - 20Co) esasen katı solüsyon takviyelidir. Düşük miktarlarda (%2 ile %3) alüminyum ve titanyum içeren demir esaslı alaşımlar, bir alüminyum-titanyum mukavemet kazandırma safhasının çökeltmesi yoluyla yüksek sıcaklıklara daha fazla dayanım gösterirler. Ergime noktası üstünlüğünden ötürü kobalt alaşımlar genellikle 1100 °C'den yüksek sıcaklıklarda nikel esaslı alaşımlardan daha fazla dayanım gösterirler. Karbür bileşikleri içeren ve bir yüzey merkezli kübik (FCC) katı solüsyon matris ile nitelendirilen döküm kobalt esaslı alaşımlar, gaz türbin motorlarında hava folyoları olarak kullanılmaktadır. Dağılımla kuvvetlendirilmiş nikel esaslı alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanıma sahiptirler. İkinci safha, ergime gerçekleşinceye kadar katı bir sertleştirme mekanizması görevinde bu alaşımların yapısında bulunur. Aksine, çökeltme ile kuvvetlendirilmiş alaşımlar, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda katı solüsyon olarak dayanım kaybederler. Dağılımla kuvvetlendirilmiş alaşımlar bazı gaz türbinli motorların yanma uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Bartlay1988).

İkinci çökeltme aşaması ile kuvvetlendirilen nikel esaslı süper alaşımlar en karışık ve bütün süper alaşımlar içerisinde en önemli olandır. Bu alaşımların fiziksel metalürjisinin çözümü zor ve karışık olmasına rağmen iyi anlaşılmıştır. Yapı ilk mukavemet kazandırma aşamasında bir çökeltmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile bir yüzey merkezli-kübik (FCC) austenitik matristen oluşur (Ezugwu et all 1998).

Alaşım bileşine ve sıcaklık işlemine bağlı olarak çeşitli karbürler ikinci çökeltme aşamasında ortaya çıkarlar. Bu alaşımlar gaz türbinli motorlardaki gerilme ve sıcaklığa ilişkin yerlerde kullanılmaktadır (Bartlay1988).

Süper alaşımlar; genellikle demir, nikel, kobalt ve daha az miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum alaşımlarla yapılan çeşitli formülleri içerirler (Ezugwu et all 1998).

### **3.1.1 Süper Alaşımların Sınıflandırılması**

#### **3.1.1.1 Demir Esaslı Süper Alaşımlar**

Bileşenler içinde, demir oranı en fazla olan ve sertlik artışının oksitler, karbürler veya intermetalik ökeltilelerle sağlandığı söylenebilir. Bu alaşımlar, oksidasyon, karbürizasyon, sıcak korozyona karşı yüksek dayanıma ilave olarak yüksek sıcaklık mukavemeti ve oksit dağılımı sayesinde elde edilen kararlı mukavemet yapısı gibi özellikler nedeniyle gaz türbinlerinin yanma odalarında, nükleer atık boşaltma elemanlarında ve cam direnç ısıtıcılar gibi sıcaklığa maruz kalan alanlarda yaygınca kullanılmaktadır (Suryanarayana 2004).

#### **3.1.1.2 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar**

Kobalt esaslı süper alaşımlar, temel bileşen olarak kobalt ve önemli miktarlarda krom tungsten ve daha az miktarlarda molibden, niyobyum, tantal, titanyum ve duruma göre demir içeren alaşımlardır. Katı solüsyon ve karbür safhaları ile kuvvetlendirilmişlerdir. Karbür safhası kuvvetlendirilmesine bağlı olarak % 0,4 ila % 0,85 karbon içerirler. Kobalt katı solüsyonlu alaşımlar kullanım alanına göre üç alt gruba ayrılırlar. (a) Haynes 25, Haynes 188, UMCo-50 ve S-816 dâhil olmak üzere 650 ila 1150 °C arasında kullanılan alaşımlar; (b) 650 °C civarında kullanılan ve MP-35N ve MP-259 bağlayıcı alaşımlar, c) Aşınma dirençli Stellite 6B alaşımlar. Sıcak işlenmiş bütün alaşımlar fcc kristal yapısına sahiptir. Fakat MP-35N ve MP-159 alaşımları servis uygulamalarından önce tavsiye edilen termo mekanik işleme süresince kapalı

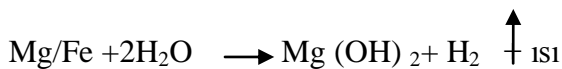
hekzagonal yapılar geliştirirler. Kobalt esaslı süper alaşımların hiçbiri tam bir katı solüsyon alaşımı değildir. Çünkü hepsi ikinci karbür safhası veya intermetalik bileşikler içerirler. Yaşlanma, genellikle oda sıcaklığında kayba yol açan ilave ikinci safha çökeltmesine neden olur (Bartlay1988).

### 3.1.1.3 Alüminyum Esaslı Süper Alaşımlar

Alüminyum esaslı süper alaşımların düşük yoğunluklu, yüksek mukavemeti ve korozyona karşı direnç gösterme özelliklerinin olması bu alaşımlar hafifliğin ön plana çıktığı uzay ve havacılık sanayinde kullanımını sağlamıştır. Mekanik alaşımlama sırasında katılan işlem kontrol elemanlarının çözünmesiyle yapıda alüminyum karbürler oluşur. Oluşan bu oksit ve karbür parçacıkları yaklaşık 30-50 nm boyutunda olup, sonraki işlemler sonucu oluşacak ultra ince tane boyutunu kararlı hale getirerek mukavemetin % 50 artmasını sağlar. Bu artış, yorulma çatlak ilerlemesine ve gerilmeli korozyon hasarına karşı direnci artırmasının yanında kırılma tokluğunu da yükseltir (Sunderasan and Fores 1987)

### 3.1.1.4 Magnezyum Esaslı Süper Alaşımlar

Mekanik alaşımlama tekniğinin magnezyum esaslı süper alaşımlara uygulanması ve hidrojen gaz elde etmenin yanında metal hidridlerin de üretimini sağlamıştır. Deniz suyu gibi bir elektrolitle hızlı reaksiyona giren, kısa devreli galvanik hücreler şeklindeki süper oksitlenen magnezyum alaşımları ısı ve hidrojen gazı üretirler. Buda dalgıçlar için ısı kaynağı ve hidrojen motorlarında yakıt olarak kullanılır. Ayrıca, mekanik alaşımlanmış Mg ve Fe tozlar su ile temas sonucunda ısı üreterek hazır yemek ısıtıcısı olarak kullanılırlar. Bu reaksiyon aşağıdaki gibi gerçekleşir.



Son yıllarda mekanik alaşımlanmış metal hidridler üzerine yoğun bir çalışma vardır. Çünkü metal hidridler, güvenli ve sıvı hidrojenden daha yüksek bir hacim yoğunluğunda hidrojeni depolarlar. Mg-Ni alaşımlarını MA ile üretmek, döküm

metalürjisi metoduyla üretmekten daha kolaydır. Magnezyumun yüksek buhar basıncına sahip olması ve iki metalin ergime noktalarının geniş bir aralıkta olması, magnezyum esaslı alaşımları hidrojen depolayan malzemeler olarak kullanılmasını sağlamıştır (Suryanarayanan et al 2001).

### **3.1.1.5 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar**

Nikel esaslı süper alaşımlar, başta nikel olmak üzere, önemli miktarlarda krom içeren alaşımlar olarak tanımlanmıştır. Temel alaşım elemanı olarak kobalt, demir, molibden, tungsten ve tantal içerebilirler. Katı solüsyon ve ikinci aşama intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmişlerdir. Alüminyum, titanyum ve niyobyum intermetalik oluşum elementleridir. Nikel esaslı süper alaşımlar % 30 ila % 75 Ni ve % 30' a kadar Cr içerirler. Birçok Inconel, Nimonics ve Hastelloy gibi alaşımlarda demir içeriği, küçük miktarlardan yaklaşık % 35' e kadar değişen oranlarda bulunur. Birçok nikel esaslı alaşım, dayanım veya korozyon direncini arttırmak için küçük miktarlarda alüminyum, titanyum, niyobyum, molibden ve tungsten içerir. Nikel ve krom kombinasyonu, bu alaşımlara önemli derecede oksidasyon dayanımı verir. Nikel esaslı süper alaşımlar özellikle 650 oC' yi geçen sıcaklıklarda mekanik dayanım olarak paslanmaz çeliği geçerler. Nikel esaslı süper alaşımlar; oksidasyon ve korozyona, yüksek dayanım ve direnç gerektiren uygulama alanlarında genişçe kullanılırlar (Ezugwu et al 1998).

Yüzey yapısı, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım, yüksek akıcılık, pekleşme, yüksek eğilim ve yüksek gerilmelerin sonucu olarak mikro yapıdaki değişikliğe çok duyarlıdır. Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan nikel esaslı alaşımlar işlenebilirlikleri zayıf malzemeler olduğundan istenen kalitede yüzey elde etmek zordur. Bu alaşımların işlenebilirliğini etkileyen bazı sebepler şunlardır. ( Choudhury 1995).

Zayıf termal iletkenliğinden dolayı, nikel esaslı süper alaşımlar, takımın yüzeyinde sık sık yüksek sıcaklıklar oluşturmakta, dolayısıyla kesici takımda yüksek radyal gradientlerin oluşmasına neden olmaktadır.

İşleme esnasında talaş ile kesici takım arasında adezyon ya da kaynama oluşmakta, kesici takım yüzeyinde bozulmalar ve malzeme kaybına sebep olmaktadır.

İşleme esnasında iş sertliğinin oluşması, talaş derinliğinde çentiğe neden olmakta ve takım aşınmasına sebep olmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda oluşan kimyasal reaksiyonlar, takım talaş arasında difüzyon aşınmasına neden olmaktadır.

Süper alaşımlardaki sert aşındırıcı karbürler, kesilme esnasında kesici takımı önemli derecede etkilemekte ve aşınmayı hızlandırmaktadır.

İşleme esnasında çıkan sürekli ve sert talaşların varlığı, kontrolü sağlamayı güçleştirmekte talaşların takım yüzeyinde krater oluşturmasına sebebiyet vermektedir.

Bu ve benzeri sebeplerden dolayı, nikel alaşımlı malzemelerin işlenmesinde takım ömrü kısa ve yüzey kalitesi düşük sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca parça yüzeyindeki artık gerilim, işleme esnasında işlenen elemanın mekanik gerilim ve korozyon özelliklerini olumsuz yönde ters etkileyebilmektedir. İşleme esnasında yüzey dengesini ve kalitesini sağlamak için aşırı dikkat istemektedir. Takım, düşük kesme parametreleri ile işleme durumlarında uzun ömür vermektedir (Ezugwu et al 1998).

### **3.2 Malzemelerin İşlenebilirliği**

Günümüzde çok farklı malzeme türleri endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Bu malzemeleri endüstride kullanıma hazır hale getirmek için talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Talaşlı imalatta birim zamandaki üretim miktarı ve üretim maliyeti çok önemlidir. Ayrıca malzeme yüzey kalitesinin yüksek ve hassas olması istenir. İşlenen malzemenin yüzey kalitesini etkileyen çok değişik faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler imalatta kullanılan kesme parametreleri olduğu gibi, kesici takım ve malzeme türüne de bağlı olmaktadır.

Talaşlı imalat endüstrisinde çözülmeye çalışılan başlıca problemlerden biriside “işlenebilirlik” tir. Her iyi imalatçı üretmek istediği ürünü nasıl daha hızlı, daha ucuz ve

daha kaliteli üretebilirim sorularına cevap aramaya çalışır. İşlenebilirliğin kesin bir tanımı yapılmamakla birlikte, literatürde çeşitli tanımlar yapılmıştır. Bu tanımlamalara paralel olarak bir yorum getirecek olursak; Bir üretim sürecinde işlenebilirlik; kesici takımın iş parçasını kesebilme ve iş parçasının da kesilebilme yeteneklerinin bileşimidir.

“İşlenebilirlik bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tamamı veya talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur.”(Özatalbaş 1993).

“İşlenebilirlik çoğunlukla malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (De Garmo et all., 1997

“İşlenebilirlik, bir malzemenin istenen yüzey formu ve toleransına getirilmesi için takım ve işleme parametreleriyle bağlantılı olarak, nasıl kolayca kesilebileceğidir ( Ezugwu, 2005)

En geniş anlamda işlenebilirlik aşağıdaki kriterlere göre tanımlanır:

1. Talaş oluşumu
2. Kesme kuvvetleri
3. Takım ömrü (veya takım aşınması)
4. Yüzey kalitesi
5. Kaldırılan talaş miktarı
6. Yığıntı talaş eğilimi (Oxley, 1989)

### **3.2.1 Talaşlı İmalat ve Talaş oluşumu**

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici

takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. İş parçası metal olduğu zaman işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir (Çiftçi 2007).

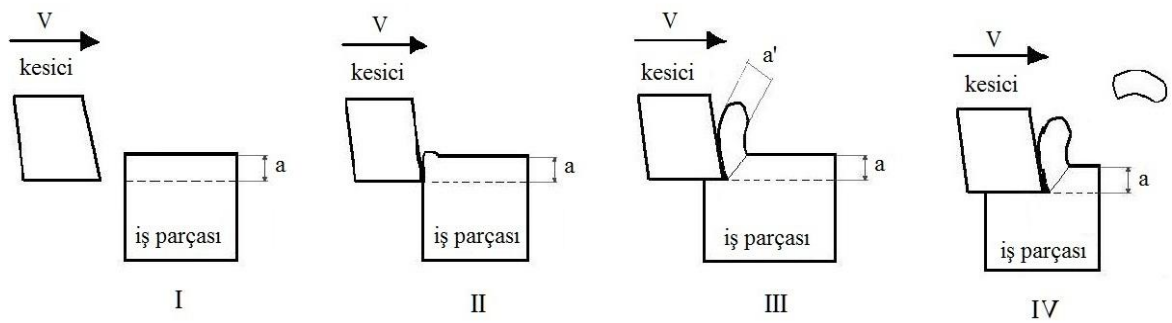
Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde, taslak) üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değişimine dayanan, iş parçası ve takım üzerinde sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir fiziksel olaydır. Bir parça üzerinden belirli bir malzeme tabakasının kaldırılması için, takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması olayı kolaylaştıran bir etkendir (Akkurt 1992).

Talaş oluşumunu açıklayabilmek için 2 tip kesme modeli geliştirilmiştir.

a-) 2 Boyutlu Ortogonal (Dik) kesme modeli

b-) 3 Boyutlu Oblik (Eğik) kesme modeli

Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ucundan yapılan ve şekil 2. 1 de gösterilen bir takım/iş parçası modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.1 Talaş oluşumu

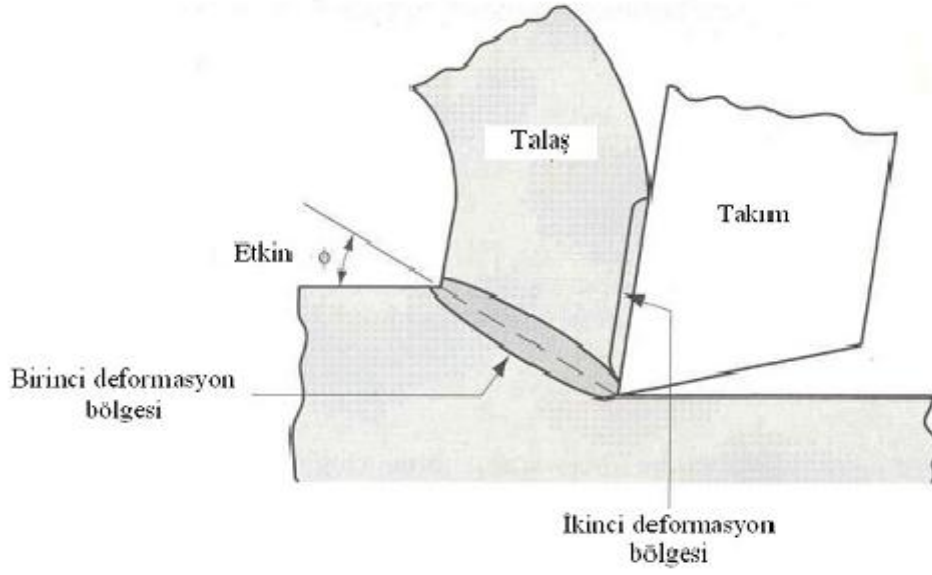
Şekil üzerinde numaralandırarak talaş oluşumunu basit bir şekilde anlatacak olursak

Burada  $V$  kesme hızı (m/min),  $a$  kesilmemiş talaş derinliği (mm),  $a'$  kesilmiş talaş kalınlığı (mm) Talaşlı imalat işlemleri farklılık gösterse de talaş oluşum mekanizması genelde aynıdır. Esas olarak talaş, bölgesel (birinci deformasyon bölgesi) kayma işlemi ile çok dar bir bölgede gerçekleşir.

Kesici takım  $V$  kesme hızıyla iş parçasına yaklaşır.

Kesici takımın iş parçası temasından sonra, iş parçası farklı mekanik ve termal kuvvetlere maruz kalır. Devam eden kesme işleminde malzemenin akma sınırına gelinir. Bu noktaya kadar yapılan işlemler malzemenin elastik deformasyon bölgesinde olduğundan, bu noktada kesme işlemi durdurulur veya geri çekilirse, malzeme ilk haline geri dönebilir.

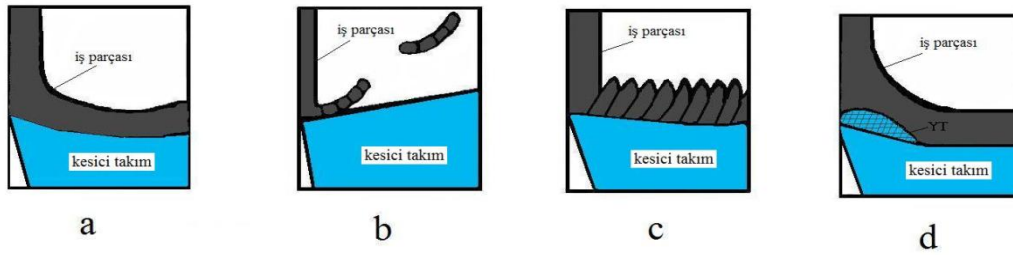
Devam eden kesme işlemi ile malzemenin akma sınırı geçilerek, kalıcı deformasyonların oluşturulduğu plastik davranış bölgesine girilir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş olarak adlandırılan yüzey katmanları, iş parçası boyunca takımın kesme yüzeyinden kayarak parçadan ayrılır. Bu bölgede kuvvetlerin durdurulması veya geri çekilmesi halinde, malzemenin eski haline dönmesi gibi bir durum söz konusu değildir. Bu işlemin süreklilik arz etmesi halinde malzemenin talaş oluşumu meydana gelir.



Şekil 2.2 Talaş oluşumu ve deformasyon bölgeleri

### 3.2.2 Talaş Tipleri

Oluşan talaşlar artık malzemeler olmasına rağmen talaşlı imalat işleminde kullanılan enerjinin büyük bir bölümü talaş oluşumunda kullanılmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde işleme şekli işlenen malzeme ve işleme parametrelerine göre talaşların biçimi değişir. Oluşan talaşların şekli önemli derecede iş parçasının bitirme yüzeyini ve talaşlı imalat işlemini ( takım ömrü, titreşim ) etkiler. Talaşlı imalat işleminde talaşlar çok çeşitli olmasına rağmen genel olarak sürekli talaş, süreksiz talaş, dilimli talaş ve yığıntı talaş şeklinde sınıflandırılabilir.

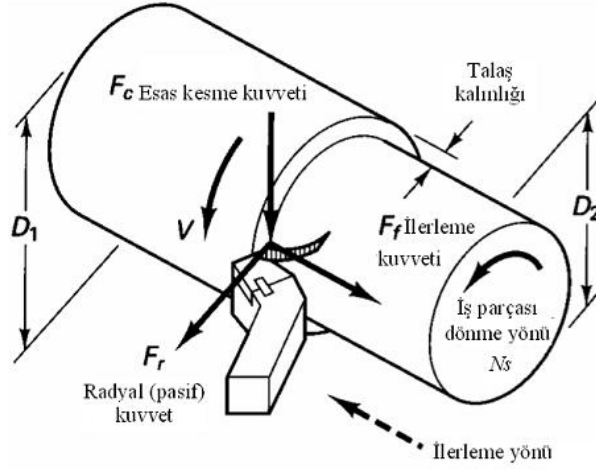


Şekil 2.3 a) Sürekli talaş, b) Süreksiz talaş, c) Dilimli talaş, d) Yığıntı talaş

### 3.3 Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde, talaş iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Günümüzde kesici takımlar tezgah gücünü çok daha efektif kullanmalarının yanında, yüksek işleme hızlarında çalışırlar. Dikkatlice tasarlanmış kesici geometrisi sadece sünek malzemelerin tornalanması işleminde değil, dökme demirlerin frezelenmesi işlemlerinde de kullanılmaktadır. Kesme kuvvetleri teorik olarak hesaplanabildiği gibi bir dinamometre yardımıyla da ölçülebilirler. Bu kuvvetler genellikle talaş kaldırma ve talaş kırma kuvvetleridir. İşlem esnasında ortaya çıkan çok büyük basınç ve sürtünme çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkiyen kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur (Çakır 2006). Tornalama işlemi esnasında kesme işlemi yapılırken, üç doğrultuda kuvvet meydana gelir. Şekil 2.4' de görüldüğü gibi bu kuvvetler; takım/talaş yüzeyi üzerine etki eden kesme ucuna dik yönde meydana gelen  $F_t$  ile gösterilen asıl kesme kuvveti; Bu kuvvet kesme işlemi esnasında meydana gelen en büyük kuvvet olma özelliğine sahiptir. Radyal yönde takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan ve takımın temas ettiği yüzeye dik olarak meydana gelen kuvvet ise radyal (pasif) kuvvettir.  $F_r$  ile gösterilen radyal kuvvet genellikle kesme işlemi esnasında meydana gelen en küçük kuvvettir ve çoğu analizde ihmal edilir ve son olarak kesme işlemi esnasında meydana gelen  $F_f$  ile gösterilen ilerleme kuvvetidir. Bu kuvvet takımın ilerleme eksenini boyunca meydana gelmektedir (Şahin 2003).

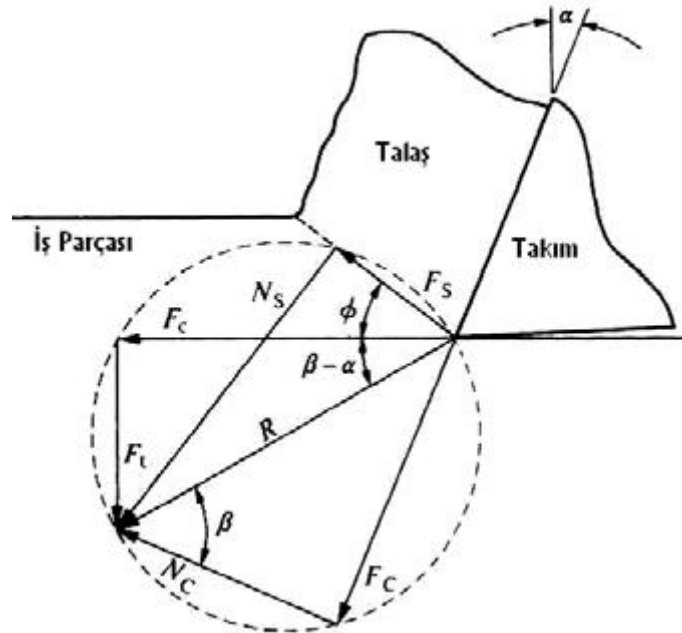
Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır (Trent E M, 1989). Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler şekil 2.4' te şematik olarak gösterilmiştir.



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

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

Kesme işlemi esnasında meydana gelen asıl ve pasif kesme kuvvetler deneysel çalışmalarla tespit edilebilmektedir. Bulunan sonuçlardan yola çıkarak, diğer sonuçlar teorik olarak hesaplanabilmektedir. Bu kuvvetler Şekil 2.5’ de gösterildiği gibi  $N_s$ ,  $F_s$  normal ve teğetsel sürtünme kuvvetleri,  $N_c$ ,  $F_c$  normal ve teğetsel kayma kuvvetleridir.



Şekil 2.5 Ortogonal kesme modelinde kesme kuvvetleri bileşenleri (Şahin 2003).

Şekil 2.5’de gösterilen kuvvetler aşağıdaki matematiksel bağıntılar kullanılarak hesaplanabilmektedir. Takım yüzeyine etkiyen normal ve teğetsel kayma kuvvetleri;

$$F_c = F_c \sin\alpha + F_t \cos\alpha \quad [1]$$

$$N_c = F_c \cos\alpha - F_t \sin\alpha \quad [2]$$

Bileşke kuvvet ise;

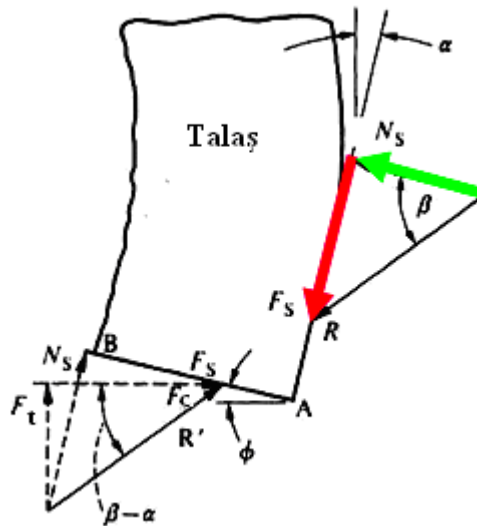
$$R = \sqrt{(F_c^2 + F_t^2)} \quad [3]$$

ile bulunur. Kayma düzlemine etkiyen sürtünme kuvvetleri;

$$F_s = F_c \cos\phi - F_t \sin\phi \quad [4]$$

$$N_s = F_c \sin\phi + F_t \cos\phi \quad [5]$$

ile bulunmaktadır. Ayrıca takım/talaş arayüzü arasında Şekil 2.6’da görülen kayma bölgesindeki sürtünme katsayısı ise;



Şekil 2.6 Takım/talaş arayüzünde meydana gelen sürtünme düzlemi

$$\mu = \tan\beta \quad [6]$$

$$\beta = \tan^{-1}(\mu) = \tan^{-1}\left(\frac{Fc}{Nc}\right) \quad [7]$$

$$\mu = \left(\frac{Fc}{Nc}\right) = \frac{Fc \sin\alpha + Ft \cos\alpha}{Fc \cos\alpha - Ft \sin\alpha} \quad [8]$$

ile bulunmaktadır.

### 3.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgâha girişlerin ve tezgâha dâhil diğer önemli işlemlerle birlikte çıkışlarında dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgâhın kinematığı, rijitliği ve ekonomikliği sayılabilir. Yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet ürünün son amacını belirlediğinden en önemli çıkış parametrelerindedir. İmalatta işlenmiş yüzey hassasiyetinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden biri olmaktadır. Yüzey hassasiyeti pek çok parametreyi içine alan bir terim olup, bunlar özetle yüzey bitimi ve çatlaklardan arınma, kimyasal değişme, yanma, dönüşme ve aşırı temperleme şeklinde termal hasar ve kalıcı çekme gerilmesi olarak sayılabilir. Bunlardan son bitirme yüzeyi talaş kaldırma işleminde en önemli unsur olup, diğerleri esas olarak taşlanmış yüzeylerle alakalıdır.

Talaş kaldırma işleminde amaç, parça yapım resminde belirtilen tolerans derecesine göre parçaların istenilen geometrik ölçü veya 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 yüzünden yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatlar “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 boyut hem de yüzey kalitesini meydana getirirler. Ancak hatalar (tolerans) ne kadar küçük olursa o kadar yüksek yüzey kalitesi elde edilir. İmalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesi gerekir. Bu işlemlerde gerçekleştirecek üretim metodunun yanında yüzey kalitesi toleransı ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlanmalıdır (Şahin 2000).

İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir (Çoğun v.d. 2002).

#### **3.4.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü**

Kesici takımlardaki hatalar, vurutular, kaleme yapışan talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanılan bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan dizi “Ra” aritmetik ortalama değeri olarak bilinir. Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların uçları yuvarlatılmıştır

#### **3.4.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü**

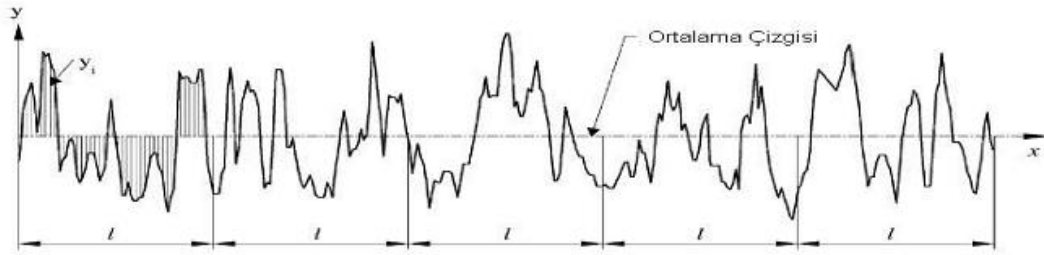
Tabii yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Tabii yüzey pürüzlülüğünü takım tezgâhı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkiler. Bununla birlikte kesici kenardaki yığılmalar da tabii yüzey pürüzlülüğünü arttıran faktörlerdendir. Kesme hızındaki artışla ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılabılır. Uç yarıçapı sabit kalmak şartıyla, ilerleme hızındaki artış ise yüzey pürüzlülüğünü arttırır.

### 3.4.3 Ortalama Yüzey Pürüzlüğü

Şekil 2.9’da gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Gadelmavla and Koura, 2002)

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^1 |y(x)| dx \quad [9]$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad [10]$$



Şekil 2.7 Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi

### 3.4.4 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

1. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
2. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
3. Takım ve iş parçası arasındaki titreşim
4. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda oluşan izler ve aşınma
5. Talaşın plastik akışı.

#### **3.4.4.1 Kesme Parametrelerinin Etkileri**

İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenir. Takım tezgahına ait sapmalar tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.

Bağlama sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan aşınmalardan kaynaklanır.

Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.

Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır (Akkurt 1992).

#### **3.4.4.2 Kesici Takım Aşınmasının Etkisi**

Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern tezgâhlarda adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi durumda üretim devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

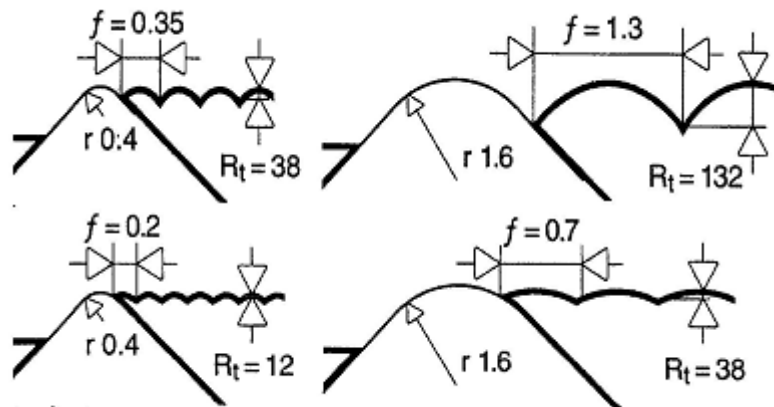
### 3.4.4.3 Kesme Kuvvetlerinin Etkisi

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenme için gerekli talaş kaldırma kuvveti  $F_s$  kesme kuvveti,  $F_v$  ilerleme kuvveti ve  $F_r$  radyal kuvvet olmak üzere üç bileşene ayrılır. Kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse iş parçası üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-ış parçası konumunu değiştirirler ve yüzey kalitesini etkilerler.

Kesme parça-takım-tezgâh zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla, talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluştururlar.

### 3.4.4.4 İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi

Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri ( $R_t$ ) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak artırılabilir. Şekil 2.10' da teorik yüzey pürüzlülüğü ( $R_t$ ) değerinin ilerleme ( $f$ ) ve köşe radyüsüne bağlı ( $r$ ) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir (Eriksen 1999).



Şekil 2.8 İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri (Çakır 1999)

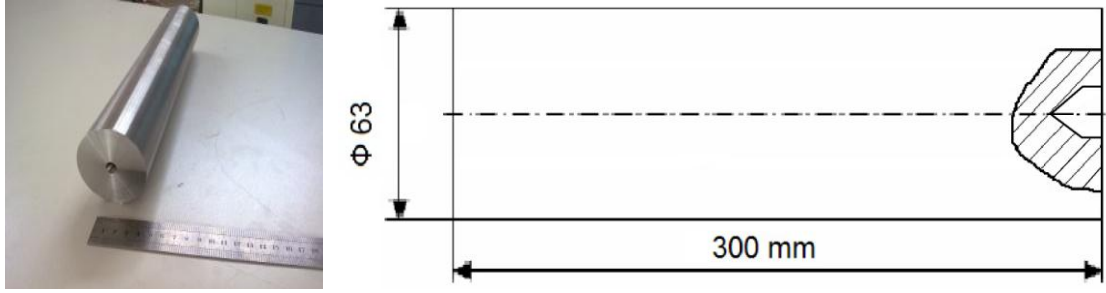
## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1 Deney Malzemesi

Deneyleerde kullanılan İncnel 718 Süper alaşım malzemesi Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. (TUSAŞ - TAI) fabrikasından temin edilmiştir. İş parçası malzemesinin ebatları Şekil3.1 de gösterilmiştir. Ayrıca malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2.1’de ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1** İncnel 718'in kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Ni	Cr	Co	Mo	Nb+Ta	Mn	C	Si	Ti	Al	Fe
53.37	18.37	0.23	3.04	5.34	0.08	0.04	0.08	0.98	0.5	17.8



**Şekil 4.1** Deneylerde kullanılan İncnel 718 malzemesinin geometrik özellikleri

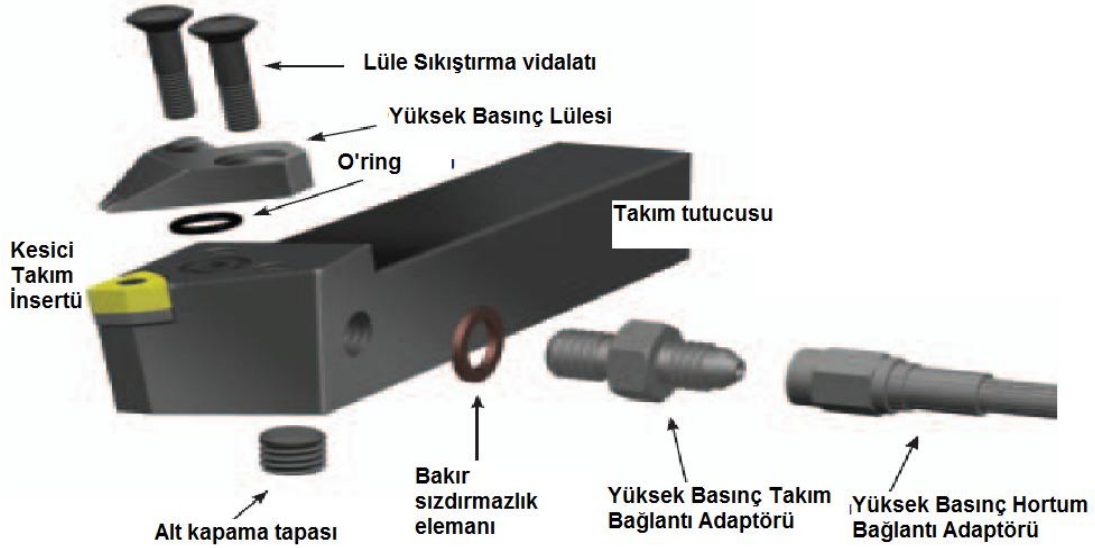
**Tablo 4.2** İncnel 718'in mekanik özellikleri (TUSAŞ, 2009)

Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Elastik modül (GPa)	Sertlik HRC	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Erime noktası (°C)	Isıl iletkenlik (W/mK)
1310	1110	206	52	8.19	1300	11.2

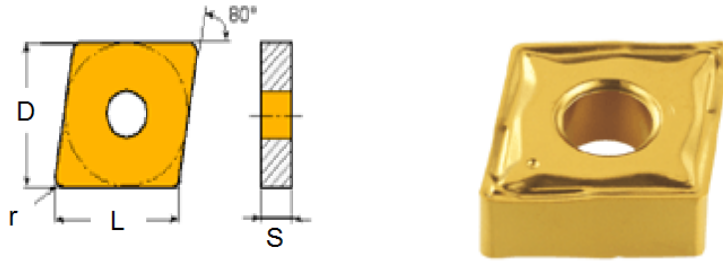
### 4.2 Kesici Takım

Tornalama testlerinde kullanılmak üzere yüksek basınçlı jet soğutma sistemleri için geliştirilen özel tasarım “SECO Jet Stream” takım tercih edilmiştir. Jet Stream

sistemindeki takımlarının tercih edilme sebebi ise 350 bardaki maksimum çalışma basıncına cevap verebilecek özellikte olmasıdır. Jet Stream takım tutucu sisteminin yapısı şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan Jet Stream takım tutucu



Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan kesici uç

Tablo 4.3 Deneylerde kullanılan kesici uç' a ait geometrik boyutlar

Gösterim (ISO)	SINIF	D	L	S	r
CNMG 120408-MR4	CP250	12,7	12,9	4,76	0,8

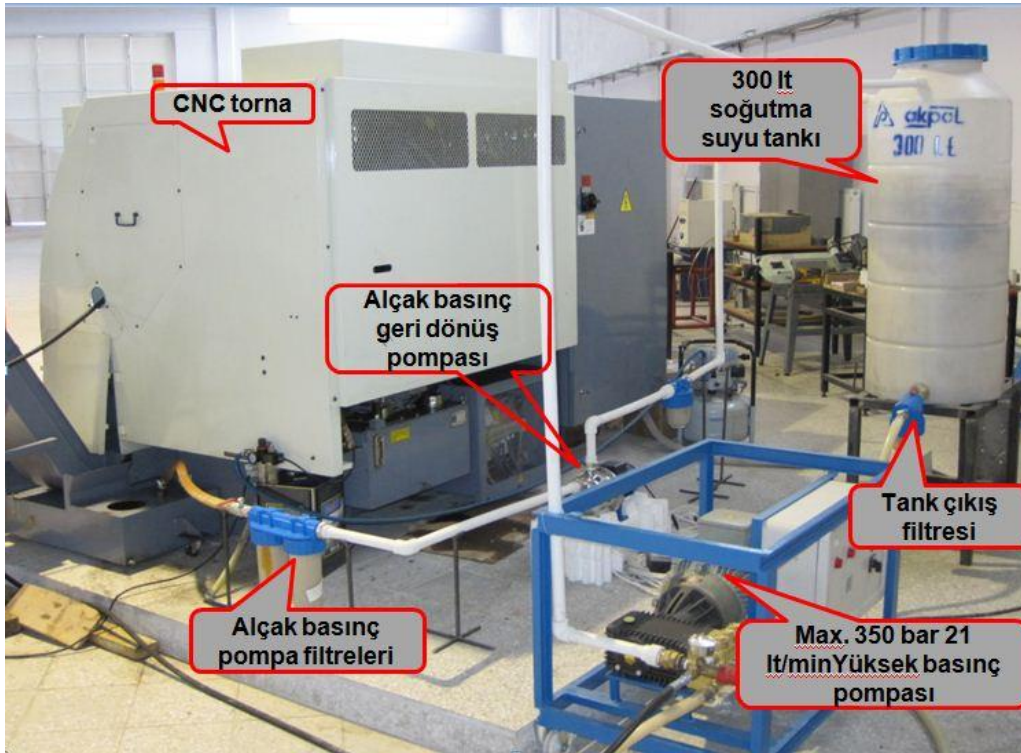
Kesici takım tutucusuna yüksek basınç pompasından gelen kauçuk bağlantı hortumunun takılması ile tutucu üzerinde bulunan lüle çaplarına göre farklı debilerde yüksek basınç oluşmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan Kesici takım tutucusu tipi SECO PCLNL2525M12JET kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ISO Kodu CNMG120408 takım uç çapı 0,8 mm CP250 PVD Kaplamalı (Ti, Al) N + TiN ) insertler kullanılmıştır.

**Tablo 4.4** Yüksek basınç lülesinin özellikleri

Nozzle Sayısı	Nozzle Çapı	Max. Ulaşılabilen Basınç	Max. Ulaşılabilen Soğutma Suyu Debisi
1	1,6 mm	300 Bar	21 lt/dak

### 4.3. Yüksek Basınç Jet Soğutma (YBJS) Sisteminin Yapısı

Resim4.1 de gösterilen tez çalışmasında kullanılan modüler yapıda tasarlanmış yüksek basınç soğutma sisteminin teknik özellikleri tablo 4.5 de verilmiştir.



**Resim 4.1** Yüksek Basınç Jet Soğutma sisteminin yapısı

**Tablo 4.5** Yüksek Basınç Jet Soğutma sisteminin elemanları ve teknik Özellikleri

YBJS Ekipmanın Adı	Teknik Özelliği
Soğutma Suyu Tankı	300 Litre kapasiteli 150 cm yükseklikte 75 cm çapında plastik tank
Filtreler	2 Adet Alçak basınç pompası çelik filtre 20 micron giriş filtresi 1 adet Alçak basınç pompası çelik filtre 20 micron çıkış filtresi 1 Adet Yüksek Basınç Pompası çelik filtre 10 micron giriş pompası
Alçak Basınç Pompası	Max 5 bar basınçlı, çelik paslanmaz gövdeli, 220 V elektrik bağlantılı soğutma suyu geri dönüş pompası
Yüksek Basınç Pompası	Max 350 Bar basınçlı, Max 21 Lt/dak debili Pistonlu çelik gövdeli 15 HP 380 V 3 faz elektrik bağlantı kumandalı
Yüksek Basınç Hortumu	Max 500 bara dayanabilen 16mm çaplı kauçuk esnek yüksek basınç hortumu

#### 4.4 YBJS de kullanılan soğutma sıvısı

Tez çalışmalarında kullanılmak üzere özel bitkisel içerikli yarı sentetik çevreye zararsız bir kesme sıvısı tercih edilmiştir. Tercih edilen Kesme sıvısı **Blaser Swisslube** firmasına ait **B-Cool 655** tipi kesme sıvısıdır. Bu kesme sıvısının özelliği yüksek basınç pompasına giren soğutma sıvısı pistonlardaki sürtünmeden dolayı oluşan 50 derecelik sıcaklığa rağmen kararlılığını koruması ve emisyonunda ve vizkozitesinde kalitesini

kaybetmemesidir. YBJSS nin test denemeleri için 300 Lt lik soğutma suyu tankı %5 soğutma sıvısı konsantrasyonu ile Resim 3.2.a' da verilen Jet Mix ile karışımı sağlanmış ve 3.2.b' de gösterilen refraktometre ile kesme sıvısı konsantrasyon oranı ölçülmüştür.



a



b

**Resim 4.2.a** Homojen Kesme Sıvısı Karışımı sağlayan Jet Mix sistemi  
b) Kesme Sıvısı Karışımı oranı ölçümünde kullanılan Refraktometre

#### 4.5 Tornalama İşleminin Yapıldığı CNC Torna ve Özellikleri

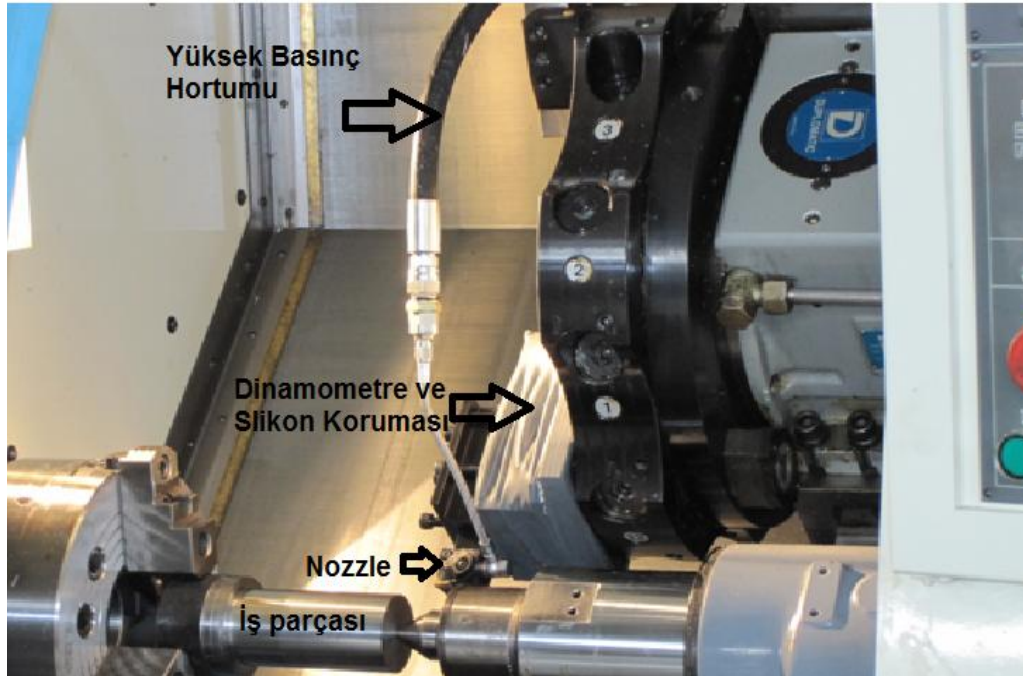


**Resim 4.3** Tez çalışmasında kullanılan CNC Torna tezgahı

Tez çalışmasında kullanılan CNC Torna tezgâhına ait teknik bilgiler Tablo 4.6' da verilmiştir

**Tablo 4.6** CNC Torna tezgâhına ait teknik bilgiler

X eksen	350 mm
Z eksen	520 mm
Tezgah Gücü	15 kW
Devir sayısı	4000 dev/dak
Hidrolik ayna çapı	250 mm
Hassasiyet	0,001 mm
Taret sayısı	12



**Resim 4.4** YBJSS sisteminin CNC Torna Tezgahına montajı

#### 4.6. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Deneyleerde farklı kesme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0,01 µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu HommelWerke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır (Resim 3.5). Ölçüm ayarları şu şekilde seçilmiştir.

Örnekleme uzunluğu (L) = 0,8 mm

Ölçme uzunluğu (Lm) = 5 x Lc = 5 x 0,8 = 4 mm

Toplam uzunluk (Lt) = 4,8 mm

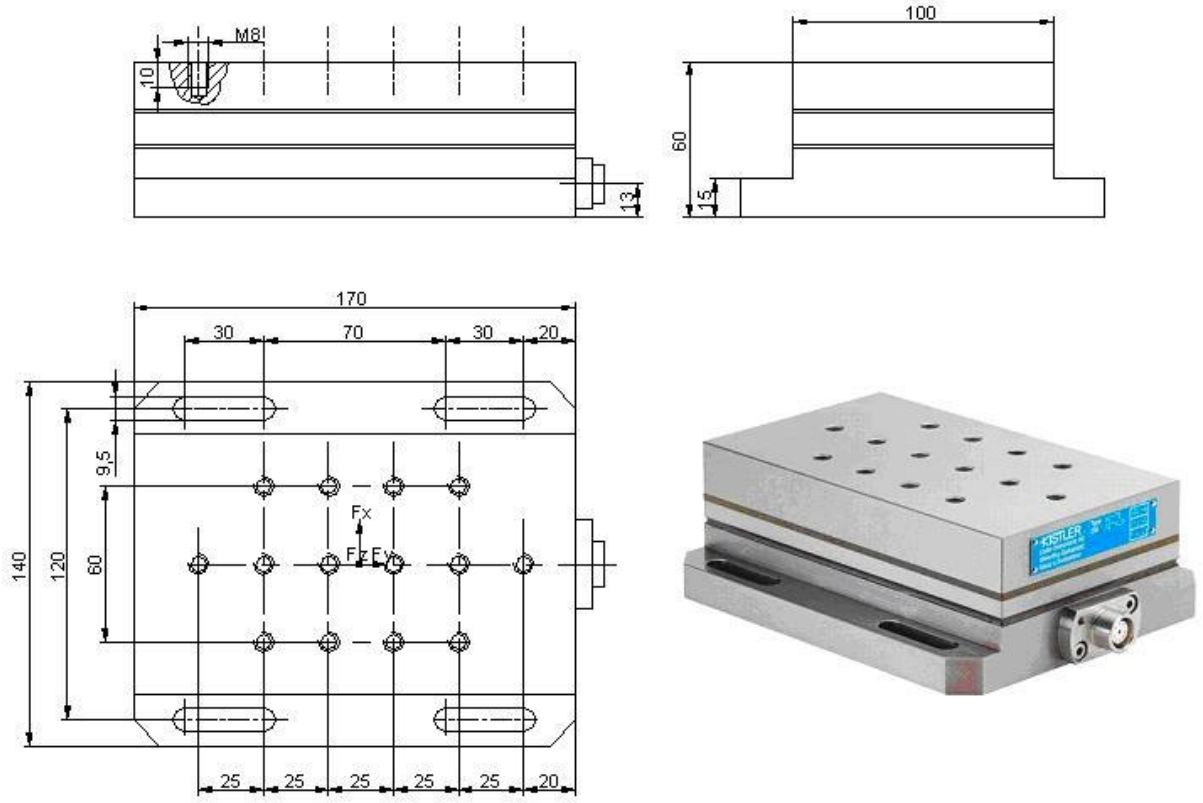


**Resim 4.5** Yüzey pürüzlülük cihazı

#### 4.7 Dinamometre

Kesme kuvveti sinyallerinin analizi, talaşlı imalatta, kesme şartlarının izlenmesinde en çok tercih edilen bir yöntemdir. Çok farklı tipteki dinamometreler farklı pozisyonlarda takım tezgâhlarına monte edilerek kesme anında oluşan kesme kuvvetlerini ve momentlerini ölçmektedirler. Dinamometreler, torna tezgâhlarında kesici takım tutucu mekanizmasına, freze ve matkaplarda iş parçasının bağlandığı tablaya veya iş mili yataklarına monte edilmektedirler.

Kesme kuvveti sinyallerinin ölçülmesinde Kistler firmasına ait 9757 A modeli dinamometre (Şekil 4.4) , veri toplama kartı ve sinyal yükseltici kullanılmıştır. Yazılım olarak ise Cut-Pro programından faydalanılmıştır.



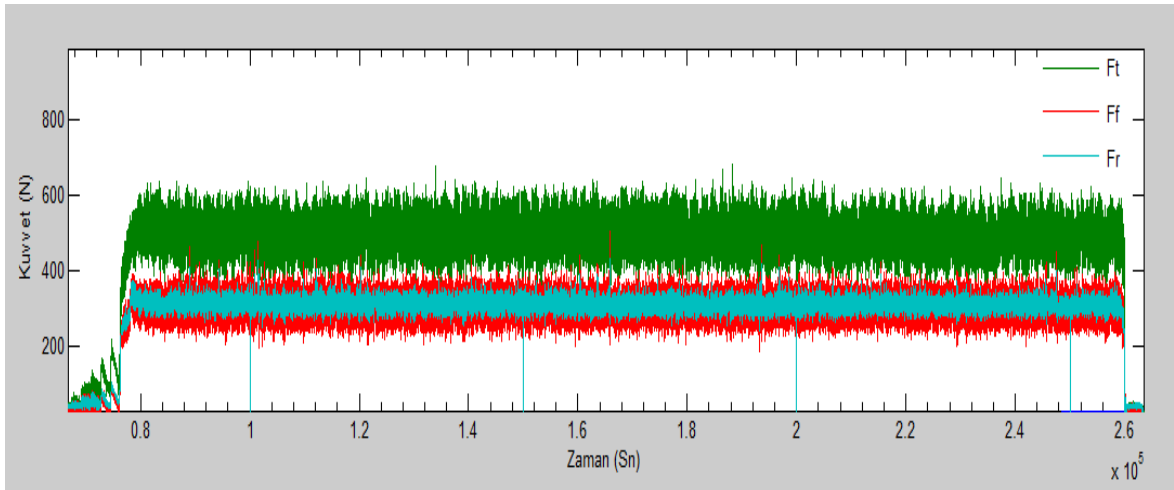
Şekil 4.4 Kistler 9757-A modeli dinamometre

## 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

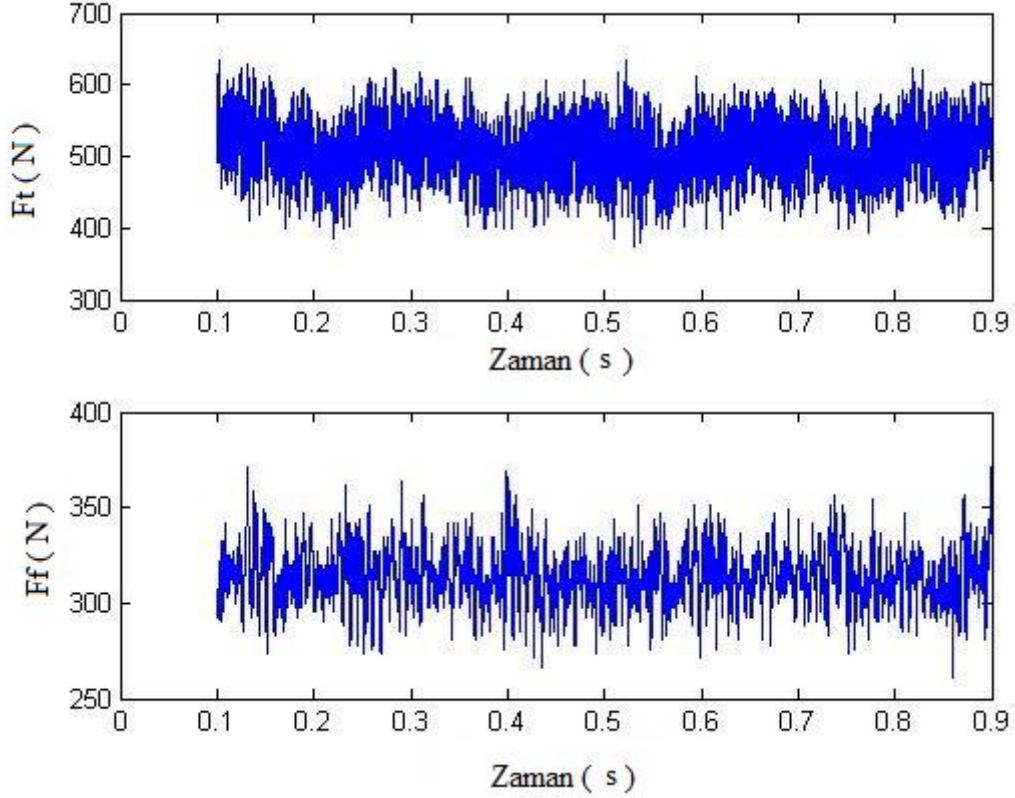
### 5.1. Kesme kuvvetleri

Bu bölümde kesme esnasında uygulanan soğutma suyu basıncın ve ilerlemenin kesme kuvvetleri üzerine ölçülen etkileri verilmiştir. Kesme kuvveti olarak teğetsel kuvvet ( $F_t$ ), pasif kuvvet ( $F_r$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) ölçülmüştür. Deneylerde CNMG120408 ISO kodlu, takım uç çapı 0,8 mm olan CP250 PVD Kaplamalı (Ti, Al) N + TiN ) insertler kullanılmıştır. Kesme hızı 50 m/dak ve talaş derinliği  $a=2$ mm sabit alınmıştır. Soğutma suyu basıncı olarak 6 bar, 100 bar, 200 bar ve 300 bar kullanılmıştır. Her bir basınç parametresinde 5 farklı ilerleme (0.1 mm/dev, 0.125 mm/dev, 0.15 mm/dev, 0.175 mm/dev, 0.2 mm/dev) kullanılmıştır. Bu değişken şartlara göre elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetleri değerlendirilirken ( $F_r$ ) pasif kuvvet grafiklere dâhil edilmemiştir.

Dinamometre den alınan veriler CUT-PRO yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Bu veriler son halinde MATLAB programında şekil 4.1 de görüldüğü gibi ekran çıktısı olarak alınmıştır. Bu grafikler bilgisayar üzerinde büyük yer kapladığından, ortalama kuvvetleri göstermesi açısından zaman sınırlaması getirilerek şekil 4.2 deki gibi daha küçük grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 Elde edilen kesme kuvvetlerinin tam zamanlı grafiği



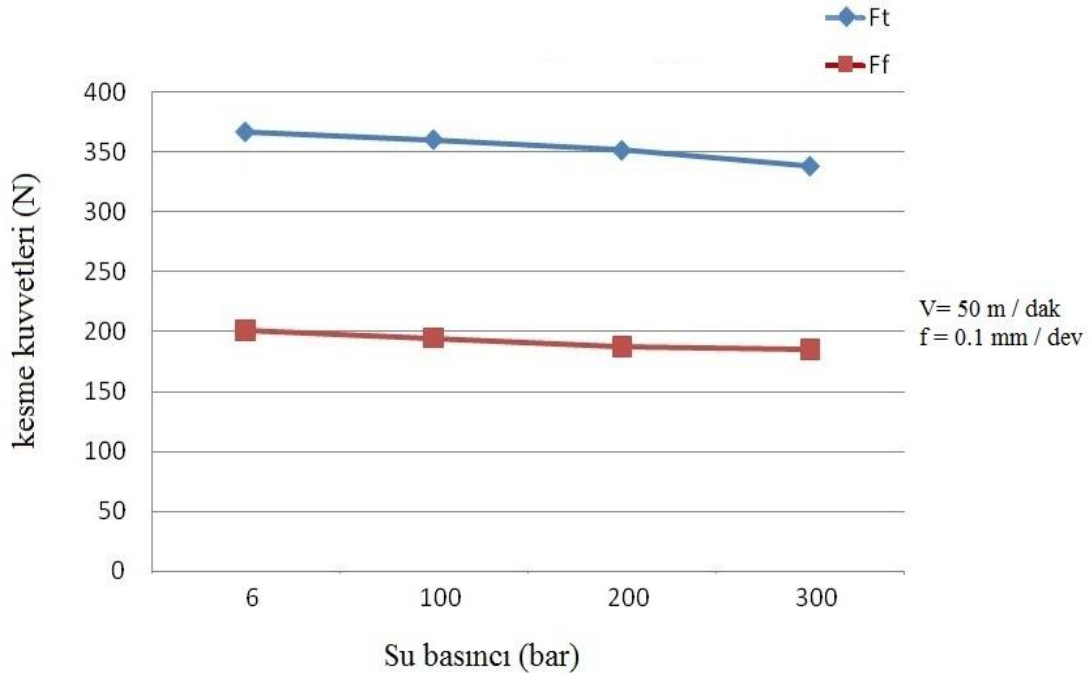
**Şekil 5.2** Elde edilen kesme kuvvetlerinin birim zamandaki değişimi

Deneysel çalışmalar boyunca elde edilen verilerin ortalama değerleri Matlab yardımıyla hesaplanarak grafik olarak çizilmiştir. Teğetsel kesme kuvveti ( $F_t$ ) ve ilerleme yönünde ölçülen kesme kuvveti ( $F_f$ ) ne basıncın etkisi ve ilerleme hızının etkisi sonraki bölümlerde anlatılmıştır.

### **5.1.1. Su basıncının ortalama kesme kuvvetlerine etkisi**

Su basıncının artması ile kesme kuvvetleri belirli bir miktar azalmıştır. Yapılan tornalama işleminde su basıncına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimi şekil 4.3’de verilmiştir.

En büyük ilerleme ve teğetsel kuvvet basıncın düşük olduğu (6 bar) durumunda elde edilmiştir. En düşük kesme kuvvetleri ise su basıncının 300 bar olduğu durumda ölçülmüştür. Su basıncının 6 bar’dan 100 bar’a çıkartıldığında teğetsel kuvvetlerde ve ilerleme kuvvetlerinde yaklaşık olarak %10 azalma kaydedilmiştir.



**Şekil 5.3** Kesme kuvvetlerinin su basıncına bağlı olarak değişimi

Su basıncının artması ile birlikte kesme bölgesine birim zamanda daha fazla basınçlı su etki etmektedir. Basıncın etkisi ile takım-iş parçası arasında sürtünmeden meydana gelen kesme sıcaklıkları azalmaktadır. Kesme sıcaklığının azalması ile takımda meydana gelecek bir deformasyon en aza indirgenmiş olur ve bu sayede takımın kesme özelliği korunur. Ayrıca basıncın etkisi ile takım ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünme azalmaktadır.

Elde edilen sonuçlarda suyun etkisi şu şekilde açıklanabilir. Tornalama işleminde oluşan talaş su basıncının etkisi ile kesme bölgesinden hızlıca uzaklaştırılmaktadır. Bu durum kesme esnasında meydana gelen talaş oluşumuna etki etmektedir.

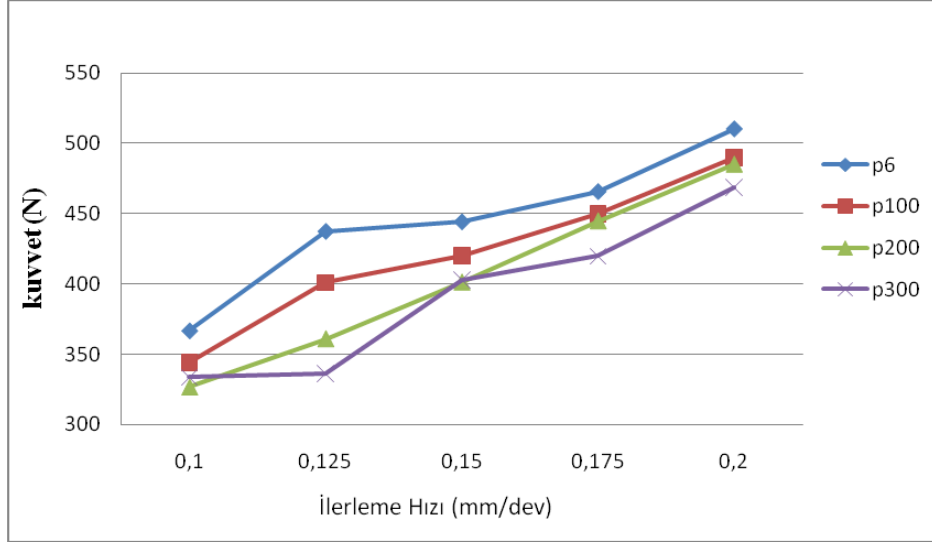
Tornalama işleminde soğutma olarak kullanılan su basıncının artması ile talaş oluşum mekanizması farklılık göstermektedir. En düşük su basıncında (6 bar) elde edilen talaş biçimi kıvrımlıdır. Su basıncının 100 ve 200 bar olduğu durumda ise talaş biçimi süreklidir. Su basıncı 300 bar olduğunda ise talaş kesikli şekilde elde edilmiştir. Burada maksimum su basıncının etkisi ile talaşların belirli bir uzunluktan sonra kırıldığı görülmüştür.



**Resim 5.1** Farklı soğutma su basınçlarına bağlı olarak elde edilen talaş biçimleri a) P6 b) P100 c) P200 d) P300

### 5.1.2. İlerlemenin etkisi

Farklı ilerleme hızlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi için deneysel çalışmalarda 5 farklı ilerleme hızı (  $f$  0,1mm/dev. 0,125 mm/dev. 0,15 mm/dev. 0,175 mm/dev. 0,2 mm/dev. ) kullanılarak kesme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde ilerleme ve teğetsel kuvvetler elde edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi şekil 4.4 te verilmiştir. İlerleme hızının artması ile birlikte teğetsel ve ilerleme kuvvetleri belirli bir miktar artış göstermiştir. Minimum kesme kuvvetleri en düşük ilerleme hızında elde edilirken, maksimum kesme kuvvetleri ise ilerleme hızının en büyük olduğu durumda elde edilmiştir.

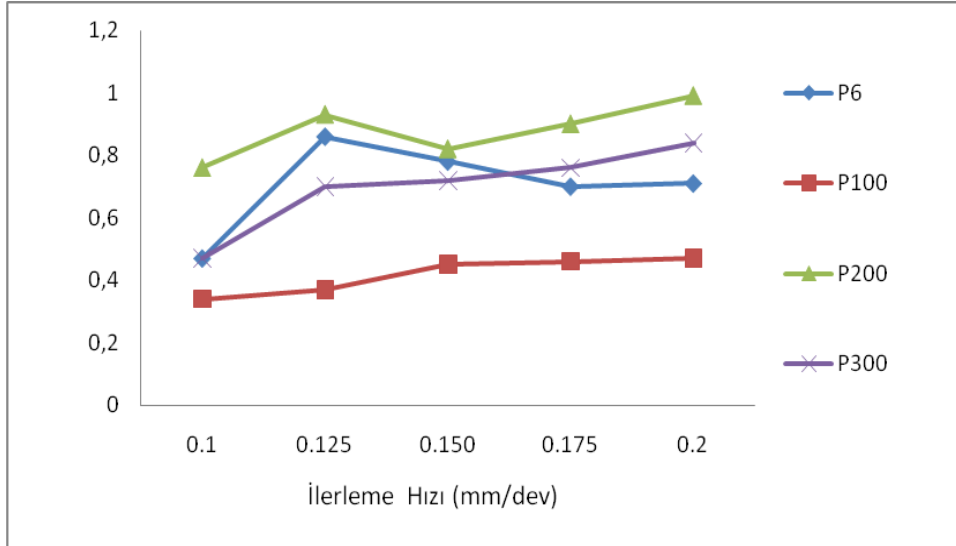


**Şekil 5.4** Kesme kuvvetlerinin ilerleme hızlarına göre değişimi

İlerleme hızlarının farklı soğutma suyu basıncına göre kesme kuvvetleri üzerine etkileri incelendiğinde, tüm basınçlarda ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetleri artmaktadır. Birim zamanda iş parçası üzerinden alınmak istenen talaş miktarı ilerleme ile doğru orantılı olduğundan kesme kuvvetlerinin artması normal karşılanabilir.

## 5.2. Yüzey Pürüzlülüğü

### 5.2.1. İlerleme hızı ve basıncın Etkisi



Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişimi-P6

Sabit ( $V = 50$  m/dak.) kesme hızı, farklı ilerleme hızları ve farklı soğutma suyu basıncı uygulanarak yapılan çalışmalarda iş parçası yüzeyinden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elmas uçlu profilometre ile ölçülmüştür. Silindirik iş parçası yüzeyinden 3 ayrı yerden ölçümler okunarak daha sağlıklı verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Alınan veriler grafik oluşturularak şekil 5.5’de gösterilmiştir. Buna göre en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri 100 bar basınç altında ve ilerlemenin 0,1 mm/dev. olduğu kesme işleminden  $Ra=0,34\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Genel itibariyle yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızına bağlı olarak doğru orantılı bir şekilde artmıştır. Fakat soğutma suyunun basıncı ile alakalı olarak böyle bir kaniya varmak pek mümkün görünmemektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Nikel esaslı süper alaşımlardan İnconel 718' CP250 PVD kaplamalı kesici takım kullanılarak,  $a=2$  mm sabit talaş derinliği,  $V= 50$  m/dak. sabit kesme hızı, 4 farklı basınç(6, 100, 200, 300 bar) ve 5 farklı ilerleme (0.1, 0.125, 0.15, 0.175, 0.2 mm/dev.) hızına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gibi kriterler esas alınarak yapılan işlenebilirlik testlerinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- Normal soğutma sıvısı kullanılarak yapılan kesme işlemlerine nazaran yüksek basınçlı jet soğutma destekli kesme işlemleri İnconel 718 süper alaşımının işlenmesinde, kesme kuvvetlerinin düşürülmesi açısından olumlu neticeler vermiştir.
- Soğutma suyunun basıncı arttırıldıkça kesme kuvvetlerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir.
- Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde sorun oluşturan uzun ve sarmal yapıdaki talaşlar, soğutma suyunun basıncının arttırılmasıyla kısa ve helisel bir yapıya dönüştüğü görülmüştür.
- Yüksek basınçlı kesme sıvısı kullanılarak kesici takıma temas eden talaş uzunluğu azaltılıp, kesici takım ömründen verim elde edilmiştir.
- Süper alaşım malzemesi işlenirken yüksek basınçlı soğutma suyu kullanılarak iş parçası malzemesinin ısınması sonucu oluşabilecek olumsuzluklar önlenmeye çalışılmıştır.
- İlerleme hızına bağlı olarak yapılan testlerde, İnconel 718 için ideal pürüzlülük değeri;  $V50$  m/dak. Kesme hızı, 2mm talaş derinliği, soğutma suyu basıncı 100 bar ve ilerleme hızı 0.1 mm/dev olarak saptanmıştır.

- Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri genel olarak ilerleme hızına bağlı artış göstermiştir. Soğutma suyunun basıncının değiştirilmesi yüzey pürüzlülüğüne net katkısı görülememiştir.

## 6.2 Öneriler

- Yüksek basınçlı soğutma sisteminde ki bazı araçlar daha da iyileştirilerek daha yüksek basınçlı soğutma yapıp, daha yüksek kesme hızlarına çıkılabilir.
- YBSS yardımıyla farklı kesici tipleri kullanılarak İconel 718 süper alaşımı için ideal şartları taşıyabilecek kesici takımlar incelenebilir.
- Talaş derinliği düşürülerek kesici takım ömrü biraz daha uzatılabilir.
- Tek katmanlı sementit karbür uçlarda kesme hızı 50 m/dak. yerine maksimum 35 m/dak. kullanılması kesici ömrü açısından daha verimli olabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Akkurt, M., 1992 Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayın Evi, İstanbul,.

Altın, A., 2005. Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alasımının İslenebilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Altıntaş, Y.2000 Metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and design Sf53

Bartlay, E., 1988 “Super Alloys a Technical Guide”.

Choudhury, I. A., 1995"Machinability studies of high strength materials and the development of a dara base system", PhD thesis, Dublin City University , 1-140

Chouldhury, I. A., El-Baradie, M. A. 1998., “Machinability of nickel-base super alloys : a general review”, Journal of materials Processing Technology, Volume 77, Issues 1-3, 278-284

Courbon C., Kramar D., vd 2009, Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718: An experimental study, International Journal of Machine Tools & Manufacture 49 ( 1114–1125)

Çakır, M.C., 1999. “Modern Talaslı imalat Esasları”, Vipas yayın evi, Bursa

Çakır, M., C., Işık, Y., “Investigating The Machinability of Austempered Ductile Irons Having Different Austempering Temperatures and Times”, Materials and Design, in Press.

Çiftçi İ. 2007 Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları”, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük, 3-15.

Çoğun C., Özses B., 2002 “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Gazi Üniv.Müh.Mim.Fak. Der. Cilt 17, No1, 59 – 75.

DeGarmo E P, Black J T and Kohser, R A 1997 ”Materials and processes in manufacturing”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652.

Eriksen, E., 1999. “Influence From Production Parameters on the Surface Roughness of a Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic”. *Int Journal of Machine Tools and Manufacture*” 39, pp. 1611-1618

Ezugwu, E. O., Wanga, Z. M., Machadop A. R., 1998 “The machinability of nickel-based alloys: a review”, *Journal of materials Processing Technology*, Volume 86, Issues 1-3, 1-16 .

Ezugwu E.O., Bonney J., 2004 “Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718, alloy with coated carbide tools”, *Journal of Materials Processing Technology* 153–154 () 1045–1050

Ezugwu E.O. 2005 “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005) 1353–1367

Gadelmavla E. S., and Koura M. M., (2002), “Roughness Parameter, *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 133-145.

Lo’pez de Lacalle L. N., J. Pe’rez-Bilbatua, J. A. Sa’nchez, J. I. Llorente, A. Gutie’rrez and J. Albo’niga, 2000 “Using High Pressure Coolant in the Drilling and Turning of Low Machinability Alloys” *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology* Springer-Verlag London Limited

Mills, B. and Redford, A. H. 1993 “Machinability of engineering Materials”, Applied Science Publishers Ltd., New York.

Nandy A.K., M.C. Gowrishankar, S. Paul, 2009 “Some studies on high-pressure cooling in turning of Ti-6Al-4V”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* p 182-198

Özçatalbaş Y., 1996 “1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isık İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, Sf.19, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Rahman, M., Seah, W. K. H., Teo, T. T. 1997, “The Machinability of Inconel 718”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 63 Issues 1-3, 199-204.

Suryanarayanan, C., Ivanov, E., Boldyrev, V. V., 2001 “The Science and Thecnology of mechanic Alloying”, *Mater. Sci. Eng.*, A304: 151-158 .

Suryanarayana, C., 2004 “Mechanical alloying and milling”, Marcel Dekker, New York, 1-466 .

Suresh Palanisamy, Stuart D.McDonald. Matthew, S. Dargusch, 2009 “Effects of coolant pressure on chip formation while turning Ti6Al4V alloy”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*.

Şahin Y. 2000 Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt II, Sayfa 1, Nobel Yayınevi, Ankara.

Şahin, Y., 2003, “Talaş Kaldırma Teorisi”, Gazi Kitabevi, Ankara.

Trent E. M. 1989 “Metal cutting”, Butterworths Press, London, p 1-71.

Sims, C.T., Hagel, W.C., 1972 *The Superalloys Wiley*, New York p 25.

White, C. H., 1986 “Nickel Base Alloys”, *Wiggin Alloy*.p 12

## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Muş' ta doğan Ahmet ÇİNİ, ilköğrenimini Fidanlık ilköğretimde, orta öğrenimini Gölcük endüstri meslek lisesinde tamamlamıştır. 2003 yılında başladığı lisans eğitimini Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde tamamlamıştır. 2007 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı ve 2010 yılında tamamladı.