

**AISI P20Ni KALIP ÇELİĞİNİN  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Çağatay TOPÇU**

# **AISI P20Ni KALIP ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Çağatay TOPÇU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Ocak 2018**

Çağatay TOPÇU tarafından hazırlanan “AISI P20Ni KALIP ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/12/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (ÇAKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ (GÜ)



...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Çağatay TOPÇU

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AISI P20Ni KALIP ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Çağatay TOPÇU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Ocak 2018, 53 sayfa

Bu çalışmada, AISI P20Ni kalıp çeliğinden hazırlanan iş parçası malzemeleri üzerinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar CNC dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiş olup deneylerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sementit karbür kesici takımlar kullanılarak olup dört farklı kesme hızı (120, 160, 180 ve 200 m/dak), dört farklı ilerleme miktarı (0,08-0,12-0,18 ve 0,27 mm/diş) ve iki farklı talaş derinliğinde (0,5-1 mm) gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar neticesinde ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Kesme kuvveti değerlendirilmelerinde ise kesme hızının artması kesme kuvvetini düşürmüş olup ilerleme miktarının artması kesme kuvvetinin değerlerini arttırmıştır. Meydana gelen en yüksek kesme kuvveti değeri 134,1 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti değeri ise 43,78 N olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 2,269  $\mu\text{m}$  olarak elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,448  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : İşlenebilirlik, kalıp çeliği, AISI P20Ni, frezeleme, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü.

**Bilim Kodu** : 916.3.028



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **AN INVESTIGATION INTO THE MACHINABILITY OF AISI P20Ni DIE & MOLD STEEL (AISI P20Ni)**

**Çağatay TOPÇU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ**

**January 2018, 53 pages**

In this study, machinability tests were carried out on workpieces prepared from AISI P20Ni die & mold steel. The tests were carried out on a CNC vertical machining center and the cutting forces and surface roughness were measured. Carbide cutting tools were used for the experimental work and four different cutting speeds (120, 160, 180 and 200 m/min), four different feed rates (0.08-0.12-0.18 and 0.27 mm/tooth) and two different depth of cuts (0.5-1 mm) were used. The experimental results showed that the surface roughness values increased with the increase of the feed rate and depth of cut. In the cutting force evaluation, the increase of the cutting speed decreased the cutting force while the increase of the feed rate decreased it. The highest cutting force value was measured as 134.1 N. The lowest cutting force value was measured as 43.78 N. The highest surface roughness value was obtained as 2,269  $\mu\text{m}$  while the lowest one was obtained as 0,448  $\mu\text{m}$ .

**Key Word** : Machinability, mold steel, AISI P20Ni, milling, cutting force, surface roughness.

**Science Code** : 916.3.028



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İşlenebilirlik deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği ArŐ. Gör. Dr. Gültekin UZUN'a teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi Zeynep BOSTANCI'ya ve doktora öğrencileri Mücahit COŐKUN ve Rüstem BİNALİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımcı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca Karabük Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri Koordinasyon Birimince KBÜ-BAP-15/2-YL-045 numaralı proje kapsamında verilen maddi destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü'ne de teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 3 .....	8
TALAŞLI İMALAT.....	8
3.1. İŞLEME ESNASINDA TALAŞ OLUŞUMU VE KALDIRILMASI.....	8
3.1.1. Talaş Türleri.....	9
3.1.2. Talaş Kaldırılmasını Etkileyen Faktörler .....	11
BÖLÜM 4 .....	18
İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	18
4.1. İŞLENEBİLİRLİK .....	18
4.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler.....	19
4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	19
4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu.....	19
4.2.2. Pürüzlülük Parametreleri .....	20

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.2.1. Örnekleme Uzunluğu Ve Örnekleme Sayısı.....	20
4.2.2.2. Ortalama Çizgisi .....	21
4.2.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra).....	21
4.2.2.4. Genlik Dağılım Eğrisi (R <sub>sk</sub> ).....	22
4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	23
4.2.3.1. Kesme Parametrelerinin Etkileri.....	23
4.2.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi .....	24
4.2.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi .....	24
4.2.3.4. İlerleme Ve Köşe Radyüsünün Etkisi.....	25
<b>BÖLÜM 5 .....</b>	<b>27</b>
<b>KALIPÇILIK VE PLASTİK KALIP ÇELİKLERİ .....</b>	<b>27</b>
5.1. KALIPÇILIK.....	27
5.2. PLASTİK KALIP ÇELİKLERİ .....	28
5.2.1. Alaşım Elementlerinin Kalıp Çeliklerine Etkisi.....	29
<b>BÖLÜM 6 .....</b>	<b>32</b>
<b>MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>32</b>
6.1. DENEY MALZEMELERİ.....	32
6.2. KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCUSU .....	33
6.3. DENEY DÜZENEGİ .....	34
6.4. KESME KUVVETİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	35
6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ.....	36
6.6. DENEYSEL PARAMETRELER.....	36
<b>BÖLÜM 7 .....</b>	<b>37</b>
<b>DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>37</b>
7.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	38
7.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESME KUVVETİNE ETKİSİ .....	41
7.2.1. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi .....	41
7.2.2. Kesme Hızına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi .....	43

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 8 .....	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
8.1. SONUÇLAR .....	46
8.2. ÖNERİLER .....	47
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	53



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Dik kesme modeli .....	9
Şekil 3.2. Talaş tiplerinin şematik gösterimi. ....	10
Şekil 3.3. Kesici takım açıları .....	12
Şekil 3.4. İşleme sırasında ısı ve sıcaklığın oluşumu .....	13
Şekil 3.5. Frezeleme işleminde talaş derinliği .....	14
Şekil 3.6. Talaş kaldırma kuvvetleri .....	16
Şekil 4.1. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu.....	21
Şekil 4.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi.....	21
Şekil 4.3. Profil ve genlik dağılım eğrisi .....	22
Şekil 4.4. Talaş kaldırma işleminde oluşan kuvvetler ve yönleri .....	25
Şekil 4.5. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri.....	26
Şekil 5.1. Kalıpcılığın sınıflandırılması.....	28
Şekil 6.1. İş arçası boyutları.....	33
Şekil 6.2. Değiştirilebilir uçlu parmak freze.....	33
Şekil 6.3. Deneilerin gerçekleştirildiği deney düzeneği .....	34
Şekil 6.4. Kistler 9257B dinamometresinde bulunan elemanlar .....	35
Şekil 7.1. 0,5 mm talaş derinliğinde yapılan deneyler sonucu oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	39
Şekil 7.2. 1 mm talaş derinliğinde yapılan deneyler sonucu oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü .....	40
Şekil 7.3. 0,5 mm talaş derinliğinde ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin $F_y$ bileşenine etkisi .....	41
Şekil 7.4. 1 mm talaş derinliğinde ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin $F_y$ bileşenine etkisi .....	42
Şekil 7.5. 0.5 mm talaş derinliğinde ve farklı ilerleme miktarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi .....	43
Şekil 7.6. 1 mm talaş derinliğinde ve farklı ilerleme miktarlarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi .....	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 5.1. Yaygın olarak kullanılan plastik kalıp çeliklerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri .....	29
Çizelge 6.1. P20Ni kalıp çeliğinin kimyasal içeriği.....	32
Çizelge 6.2. P20Ni kalıp çeliğinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri .....	32
Çizelge 6.3. Kullanılan kesici takım ve özellikleri .....	33
Çizelge 6.4. Deneylerin yapıldığı CNC dik işlem merkezinin özellikleri .....	34
Çizelge 6.5. Kistler 9257B dinamometresinin teknik özellikleri.....	35
Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	36
Çizelge 6.7. Deney değişkenleri .....	36
Çizelge 7.1. Deney verileri .....	38

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $\alpha$  : boşluk açısı  
 $\gamma$  : talaş açısı  
 $\beta$  : kama açısı  
 $r$  : takım ucu yarıçapı  
 $T$  : takım ömrü  
 $v$  : kesme hızı  
 $a$  : talaş derinliği  
 $f$  : ilerlememiktarı  
 $F_s$  : kesme kuvveti  
 $F_k$  : makaslama kuvveti  
 $F_t$  : radyal kuvvet  
 $F_b$  : basma kuvveti  
 $F_f$  : sürtünme kuvveti  
 $R_a$  : ortalama yüzey pürüzlülüğü  
 $R_t$  : yüzey pürüzlülüğünün derinliği  
 $R_p$  : yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği  
 $L_n$  : örneklem uzunluğu  
 $R_{s_k}$  : genlik dağılım eğrisi  
 $R_q$  : en derin pürüzlülük değeri

### KISALTMALAR

- TiN : Titanyum Nitrür  
TiCN : Titanyum Karbon Nitrür  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Alüminyum Oksit  
TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

- MMY : Minimum Miktarda Yağlama  
HRC : Rockwell-C Sertlik Birimi  
CBN : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)  
PCBN : Polikristalin Kübik Bor Nitrür  
HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)  
AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)  
PVD : Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)  
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Standartı)  
ISO : International Standart Organization (Uluslararası Standart Organizasyonu)  
CNC : Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)  
BUE : Built Up Edge (Yığıntı Talaş Oluşumu)  
SEM : Scanning Electron Microscobe (Taramalı Elektron Mikroskobu)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Endüstride imalat işlemleri için kullanılan malzemelerin ekonomik, işlenebilirliklerinin iyi olması ve takım tezgahlarının da en iyi performansı sağlayacak şekilde kullanılması gerekir. Gelişen teknoloji ve üretimin artmasıyla talaşlı imalata gereksinim her geçen gün artmaktadır. Diğer imalat işlemleri ile üretilen ürünlerin neredeyse % 80'i son şekillerini alabilmeleri için talaşlı imalat yöntemlerinden biri ile işlenmelidir. Bunların neticesinde son zamanlarda talaşlı imalatta kullanılan takım tezgahları ve kesici takımlar geliştirilmektedir. İmalat işlemlerinden uygun seçilmeyen işleme parametreleri ve yanlış seçilen kesici takımlardan dolayı üretilen iş parçalarının bozuk oluşmasına, boyutsal tamlik iyi olsa bile yüzey kalitesinin yeterli seviyede olmamasına, maliyetin atmasına ve zaman kaybına neden olmaktadır [1,2]. Meydana gelen kayıpların en aza indirgenmesi talaşlı imalatın olmazsa olmaz kuralıdır. Bu nedenle üretilen ürün için üretime başlamadan önce iş parçası malzemesine göre işleme parametrelerinin ve gerekli kesici takımların belirlenmesi gerekmektedir.

Talaşlı imalat işlemleri birden fazla olmasına rağmen kullanım alanı olarak en yaygın olanı frezeleme işlemidir. Frezeleme, iş parçasının sabit kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ile talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımların birden fazla kesici ağız bulunmaktadır [1]. Genel olarak prizmatik parçaların işlendiği bilinse de günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC kontrollü tezgahlar ve CAD/CAM programları yardımıyla karmaşık geometrilere sahip iş parçası malzemeleri de işlenebilmektedir. Özellikle serbest yüzeyli kalıpların işlenmesinde CNC kontrollü takım tezgahları ve CAD/CAM programları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kalıp yapımında kullanılan çeliklerin seçimi çeşitli hususların önceden dikkate alınması gerekir. Bunlar; işleme maliyeti, işleme sonrası yapılması gereken ek işlemler

(Isıl işlem, taşlama), işleme şartları ve işleme için gerekli zamandır. Bu nedenle işlenecek iş parçası ve kesici takımın düzgün seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmamızda endüstride yaygın olarak kullanılan P20 kalıp çeliğine Nikel (Ni) ilavesi ve ön sertleştirilme işlemi uygulanarak üretilen P20Ni kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Frezeleme yöntemiyle yapılan deneylerde farklı işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gökkaya ve arkadaşları, işleme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme miktarı) etkisiyle kesici takım ve talaş arasındaki yüzeyde oluşturduğu sıcaklığı incelemişlerdir. AISI 1015 çeliğini iş parçası olarak seçerek işleme yöntemlerinde tornalama olarak seçmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerde ısı çift yönteminin sıcaklık ölçümü için en kullanışlı yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu yöntemin gerçek sıcaklık değerine %15 yakınlıkta ölçüm gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir [3].

Farhat, deney çalışmasını AISI P20 çeliği üzerinde tungsten karbür kesici takımlarıyla gerçekleştirmiştir. Yöntem olarak tornalama kullanmış olup dik kesme yöntemi uygulamıştır. Deneyleri sonucunda yüksek kesme hızlarında aşınma meydana geldiğini, düşük kesme hızlarında yığıntı talaş oluşumunun gözlemlendiğini belirtmiştir [4].

Yaşar, plastik kalıp çeliklerinin işlenebilirliğini yaparak özgül kesme dirençlerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarında AISI 2083, AISI 2738, AISI 2312 ve AISI 2316 plastik kalıp çeliklerini kullanmıştır. Deneylerini ISO 1832 standardına göre 75° yanaşma açısı ile tornalama yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalarının ışığında ilerleme miktarı ve talaş derinliği artışıyla kesme kuvvetinde de artış meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ayrıca bu parametrelerin artmasıyla özgül kesme dirençlerinin düştüğünü belirtmiştir [5].

Akben ve Erten, deneylerinde çeliklerin işlenmesinde TiAlN kaplamalı kesici takımlar kullanarak sulu ve minimum miktarda yağlama (MMY) soğutma sistemleri ile meydana gelen kesici takım aşınmalarını ve işleme sonrası iş parçası yüzey

pürüzlülüğünü karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda MMY ile yapılan işlemlerin daha verimli olduğunu belirtmişlerdir [6].

Işık, yapmış olduğu deneysel çalışmada birkaç tane takım çeliğinin işlenebilirliğini incelemiştir. Yapmış olduğu deneylerde kaplamalı kesici takımlar için işlenebilirliği etkileyen işleme parametrelerini dikkate almıştır. Deneyleri sırasında meydana gelen kesme kuvveti değerlerini üç boyutlu dinamometre yardımıyla elde etmiştir. Deneylerinde AISI 02 (soğuk iş takım çeliği), AISI H10 (sıcak iş takım çeliği) ve AISI P 420 (kalıp çelipi) kullanmış olup, TiC+TiCN+TiN kaplamalı takımlar ve kaplamasız kesici takımlar kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, kesici takımda meydana gelen yüzey aşınmasını, iş parçasının işlenen yüzeyinin yüzey pürüzlülüğünü ve kesici takım ömrünü karşılaştırmıştır [7].

Aggarwala ve arkadaşları, çalışmalarında AISI P20 takım çeliğinin tornalanması sırasında kriyojenik soğutma kullanmışlardır. İşlemlerinde, işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) ve kesici takım burun yarı çapının etkilerini incelemiştir. Ayrıca deneylerinde yüzey merkezli tasarlanmış kompozitler kullanmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda kesici takım ömrünün, kesme kuvvetlerinin, işleme için gereken güç tüketiminin ve yüzey pürüzlülüğünün optimize edildiğini belirtmişlerdir [8].

Altinkaya, üç farklı geometriye ve kaplamaya sahip kesici takım kullanarak AISI 316 paslanmaz çeliği ile yapmış olduğu çalışmada kuru kesme şartları altında frezeleme işlemi gerçekleştirmiştir. Kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı kullanmıştır. Sonuç olarak TiAlN ile kaplanmış kesici takımın diğer kaplamalara sahip takımlara oranla daha üstün performans sergilediğini, kesici takımlarda oluşan aşınmanın kesme hızının artmasıyla arttığını, ilerleme hızının artmasıyla azaldığını ve yüzey pürüzlülüklerinin kesme hızının artmasıyla azaldığını, ilerleme miktarının artmasıyla artış gösterdiğini belirtmiştir [9].

Domaç, AISI 1040 çeliğinin frezelenmesinde kesici takım geometrisinin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için gerçekleştirdiği deneylerinde üç farklı geometriye sahip kesici takım kullanmıştır. Kesme

parametreleri olarak 2 farklı talaş derinliği (0,5; 1 mm), 3 farklı ilerleme miktarı (0,1; 0,15; 0,2 mm/diş) ve 5 farklı kesme hızı (120, 140, 200, 240, 280 m/dak) kullanmıştır. Deneysel olarak elde ettiği verileri değerlendirdiğinde sonuç olarak kesme kuvveti bakımından geometri olarak sadece “pahlı” olan kesicinin en iyi sonucu verdiğini, “pahlı ve radyuslu” olan kesicinin ise en yüksek kesme kuvveti oluşturduğunu belirtmiştir. Deney sonuçlarını işlenen malzemede oluşan yüzey pürüzlülüğü yönünden değerlendirdiğinde ise geometri olarak sadece “pahlı” olan kesicinin en iyi yüzey pürüzlülüğünü oluşturduğunu, “pahlı ve radyuslu” olan kesicinin ise en yüksek yüzey pürüzlülük değerini oluşturduğunu belirtmiştir. Kesici takım geometrisi olarak sadece “radyuslu” olan kesici takımın tüm kesme şartlarında kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri bakımından diğer geometrilere sahip kesici takımların oluşturduğu değerlerin ortasında bir değer oluşturduğunu belirtmiştir [10].

Seymen, 7075 serisi alüminyumun freze tezhagında farklı çaplara (8, 10 mm) sahip elmas benzeri karbon (DLC) ile kaplanmış parmak frezeler ile işlenmesi sırasında farklı kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemiştir. Kuru işleme şartlarında gerçekleştirdiği deneylerde 3 farklı fener mili hızı (1200, 1700, 2200 dev/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,02; 0,03; 0,04 mm/dev), 3 farklı kesme derinliği (4, 8, 12 mm) ve üç farklı işleme genişliği (2, 3, 4 mm) kullanmıştır. Elde ettiği deneysel verilere göre 10 mm çapa sahip parmak freze ile işlenen yüzeyin pürüzlülük değerinin 8 mm çapa sahip olana göre daha düşük olduğunu ve fener mili hızının yüksek olduğu durumlarda parmak freze çapının büyümesinin işlenen yüzeyin kalitesini arttırdığını vurgulamıştır. Kesme kuvvetleri üzerinde en önemli faktörün işleme genişliği olduğunu ve talaş derinliğinin ise en az derecede etki ettiğini belirtmiştir [11].

Şirin ve arkadaşları, AISI D2 soğuk iş takım çeliğine üç farklı sıcaklıkta ısı işlem uygulayarak CNC dik işleme merkezinde işlenmesi sırasında kesme parametrelerinin oluşan yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerini incelemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneylerini 0,5 mm kesme derinliğinde, üç farklı ilerleme hızı (0,05; 0,1; 0,15 mm/diş), dört farklı kesme hızı (70, 90, 110, 130 m/dak) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri deneysel veriler sonucunda, yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametreleri takım geometrisi, ilerleme miktarı ve

kesme hızı olarak sıralandığını belirtmişlerdir. Kullanmış oldukları kesme parametreleri içerisinde en düşük değere sahip olan kesme hızı ve ilerleme miktarında neredeyse taşlama kalitesinde yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini belirtmişlerdir. Takım aşınması bakımından ise sadece en sert olan malzemenin işlenmesi sırasında plastik deformasyon olarak tespit ettiklerini belirtmişlerdir [12].

Baran, çalışmasında 51 HRC sertliğe sertleştirilmiş DIN 1.2344 sıcak iş çeliği ile yüksek hızda işleme teknolojisi kullanarak 6 mm çapa sahip TiAlN kaplamalı küresel uçlu parmak freze ile farklı işleme parametrelerinde işlenmesi sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir. Talaş kaldırma operasyonlarını üç farklı aşamada oluşturmuştur, birinci aşamada kaba işleme, ikinci aşamada ön finiş işleme ve üçüncü aşamada ise son finiş işleme operasyonu gerçekleştirmiştir. Kaba işlemede 20 mm çapa, 5 mm köşe radiusuna sahip kesici takım kullanarak 0,1 mm kesme derinliğinde, 10 mm yanal kayma miktarında, 2500 mm/dak tabla ilerlemesinde, 2500 dev/dak iş mili devirinde gerçekleştirmiştir. Ön finiş işlemede ise 14 mm çapa sahip küresel uçlu parmak freze kullanarak, 7000 dev/dak iş mili devirinde, 3000 mm/dak tabla ilerlemesinde, 0,42 mm yanal kayma miktarında gerçekleştirmiştir. Son finiş işlemede ise 6 mm çapa sahip küresel uçlu parmak freze ile iki farklı kesme derinliğinde (0,05; 0,1 mm), dört farklı kesme hızında (32,04; 44,86; 188,50; 263,89 m/dak), iki farklı yanal kayma miktarında (0,05-0,1 mm) ve iki farklı dış başına ilerleme miktarı (0,05-0,1 mm/diş) kullanarak gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışmalar sonucunda, sert kalıp çeliklerinin yüksek hızda işlenmesi sırasında aynı yönlü frezeleme yöntemi tercih edilirse optimum yüzey kalitesi sağlanacağını, finiş işleminin için bırakılan talaş miktarının 2 mm'yi geçmemesi gerektiğini, devir sayısının yükselmesinin yüzey kalitesini olumlu yönde etkilediğini belirtmiştir [13].

Demir ve arkadaşları, AISI 420 ESR üzerine yapmış oldukları işlenebilirlik deneylerinde, kuru kesme şartlarında kesme parametreleri olarak dört farklı ilerleme miktarı (0,05; 0,10; 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve altı farklı kesme hızı (360, 320, 280, 240, 200, 160 m/dak) kullanarak 1 mm kesme derinliğinde tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemek için gerçekleştirdikleri çalışmada, yüzey pürüzlülük

değerlerini her bir iş parçası ve her bir kesme parametresi için aldıkları üçer adet ölçümün ortalamasını alarak kullanmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucu olarak ise kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin önemli derecede azaldığını, yüzey pürüzlülük değerinin kesme hızından ve ilerleme miktarından önemli derecede etkilendiğini belirtmişlerdir [14].

Özel ve arkadaşları, AISI H13 çeliğinin işlenmesi sırasında kesici takımın kesme kenarı geometrisi, iş parçası sertliği, ilerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde düşük sertlikteki malzemenin özellikle yuvarlatılmış uç geometrisine sahip kesici takımlar ile işlenmesinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde ettiklerini belirtmişlerdir aynı zamanda düşük sertliğe sahip malzemenin işlenmesinde köşe radiusunun düşük olduğu kesici takım kullanarak yaptıkları işlemlerde aksenel ve yüzeysel kuvvetlerin düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [15].

Boy ve arkadaşları, Vanadis 10 çeliğinden hazırlamış oldukları numuneler üzerinde yapmış oldukları işlenebilirlik deneylerini 1 mm kesme derinliğinde, sekiz farklı kesme hızı (75; 100; 125; 150; 200; 250; 300 ve 350 m/dak) ve beş farklı ilerleme hızı (0,04; 0,06; 0,08; 0,10 ve 0,12 mm/dev) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Tornalama yöntemiyle gerçekleştirdikleri deneylerde kaplamalı, yuvarlatılmış ve wiper geometriye sahip iki tip sementit karbür kesici takım kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneylerde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kesme hızının artmasıyla işlenen yüzeyin pürüzlülük değerinin azaldığını fakat yüksek kesme hızlarına çıktığında pürüzlülüğün arttığını belirtmişlerdir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de artması beklenirken ilerleme miktarının 0,08 ve 0,1 mm/dev olduğu durumda yüzey pürüzlülüğünde iyileşme meydana geldiğini belirtmişlerdir [16].

## BÖLÜM 3

### TALAŞLI İMALAT

Malzemelere istenilen şekli verebilmek için malzemedan kesici takım vasıtasıyla talaş kaldırma işlemine talaşlı imalat denilmektedir. Malzemedan talaş kaldırılması kesici takımın kesme hızı ve ilerleme miktarı ile yapılmaktadır [17].

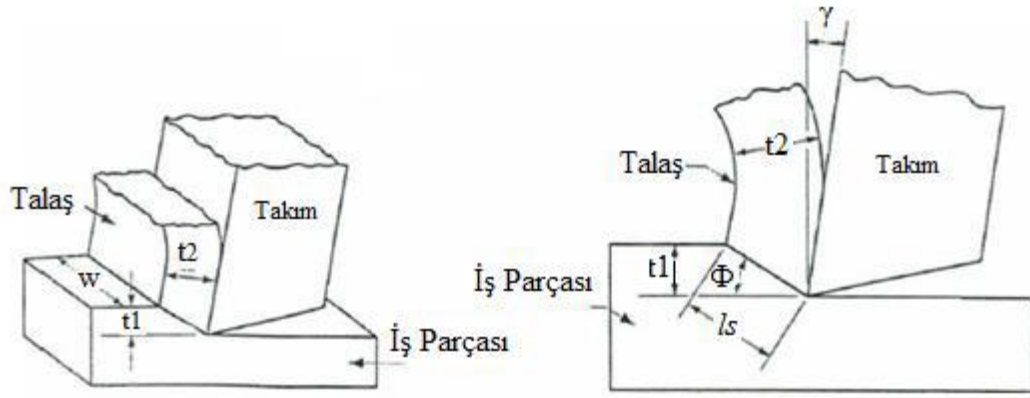
#### 3.1. İŞLEME ESNASINDA TALAŞ OLUŞUMU VE KALDIRILMASI

Talaş oluşumu ve oluşan talaşın kaldırılması için yapılan işlenebilirlik çalışmaları genellikle metal iş parçaları üzerinde yapılmıştır. Metalüzerine yapılmış olsa da metal dışı malzemelerin işlenebilirliğide metal işlenebilirliğindeki kurallar geçerlidir [18,19].

Talaş oluşumunun sağlanabilmesi için üç faktör olmalıdır. Bunlar:

- Kesici takım malzemesinin iş parçası malzemesinden daha sert olması ve aşınmaya karşı olan direnci daha fazla olmalıdır,
- Kesici takım uç geometrisi işleme esnasında kolay hareket yapabilecek şekilde olmalı,
- Kesici takım ile iş parçası arasında nisbi hareket olmalıdır [20].

Talaşlı imalat işlemleri normalde üç boyutlu işleme olmasından dolayı karışıklığın olmaması için talaş kaldırma işlemi tanımlanırken dik kesme modeli uygulanmaktadır. Dik kesme modeli basit olmasına rağmen yeterli doğrulukta talaş kaldırma işlemini tanımlamaktadır (Şekil 3.1) [21].



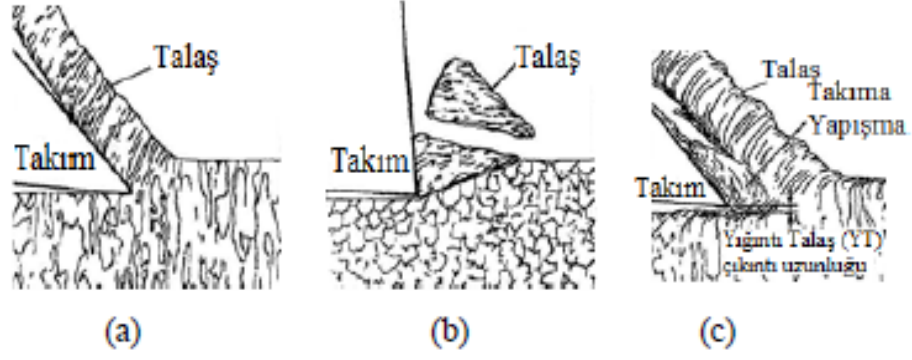
Şekil 3.1. Dik kesme modeli [22].

- t1: Deforme olmamış talaş kalınlığı ls: Kayma düzlemi uzunluğu  
t2: Deforme olmuş talaş kalınlığı  $\Phi$ : Kayma düzlemi açısı  
w: İş parçası genişliği  $\gamma$  : Kesici takım talaş açısı

Talaşın oluşumu, işleme esnasında iş parçasının kesici takımın önünde bölgesel deformasyon oluşturmasıyla meydana gelir. Bu deformasyon oluşumu, iş parçasıyla kesici takımın aralarındaki nisbi hareketin sonucuyla iş parçasını gerilmeye maruz bırakarak birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyon oluşmasına neden olur. Oluşan plastik deformasyon ile talaş oluşumu meydana gelir. Deformasyon düzleminde meydana gelen talaş, kesici takım talaş yüzeyinin üzerinden geçerken yapışma sonucunda ikinci kez deformasyon oluşumu göstererek kesme bölgesinden dışarı atılır [23].

### 3.1.1. Talaş Türleri

Talaşlı imalat sırasında meydana gelen talaş türleri işleme parametrelerine, kesici takım geometrisine ve iş parçası malzemesine göre değişmektedir. Oluşan talaş türleri işleme koşulları ve işlenen yüzeyin pürüzlülüğü hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra işlenen parçanın talaşlı imalatta kolay mı yoksa zor mu işleniyor bilgisini vermektedir. Talaş türleri oluşumlarına göre üç türde (Sürekli talaş, kesikli talaş ve yığıntı talaş) meydana gelmektedir (Şekil 3.2) [24].



Şekil 3.2. Talaş tiplerinin şematik gösterimi. a) Sürekli (akma) talaş, b) Kesintili (süreksiz) talaş c) Yığıntı talaş (BUE) [25].

### Sürekli talaş

Bu talaş türü kesme hızının yüksek, ilerleme miktarının düşük olduğu ve genellikle sünek malzemelerin işlenmesinde görülmektedir. Sürekli talaş tipinde kesici takım uç sivriliği ve sürtünmenin düşük olmasıyla yüzey kaliteli oluşabilir. Ancak aşırı birikmesi problemlere yol açmaktadır. Bu problemler, işleme sırasında tezgahın durdurulması ve talaşın temizleme gereksiniminin duyulmasının yanı sıra yüzeyin pürüzlü oluşmasına neden olmaktadır. Bu problemler günümüzde kesici takımlara talaş kırıcıların eklenmesi ve etkin bir kesme sıvısı kullanılarak giderilmektedir [26].

### Kesikli Talaş

Kesikli talaş, kesme hızının düşük olduğu, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin yüksek olduğu ve gevrek malzemelerin işlenmesi esnasında meydana gelmektedir. Ayrıca talaşın süreksiz oluşu kesme kuvvetlerini değiştirmekte, kesici takımın daha hızlı aşınmasına neden olmakla beraber tezgahta titreşim oluşturmaktadır. Bu olumsuzlukların yanında talaş ile kesici takımın arasında sürtünmenin yüksek oluşu yüzey pürüzlülük değerini artırmaktadır [26].

### Yığıntı Talaş

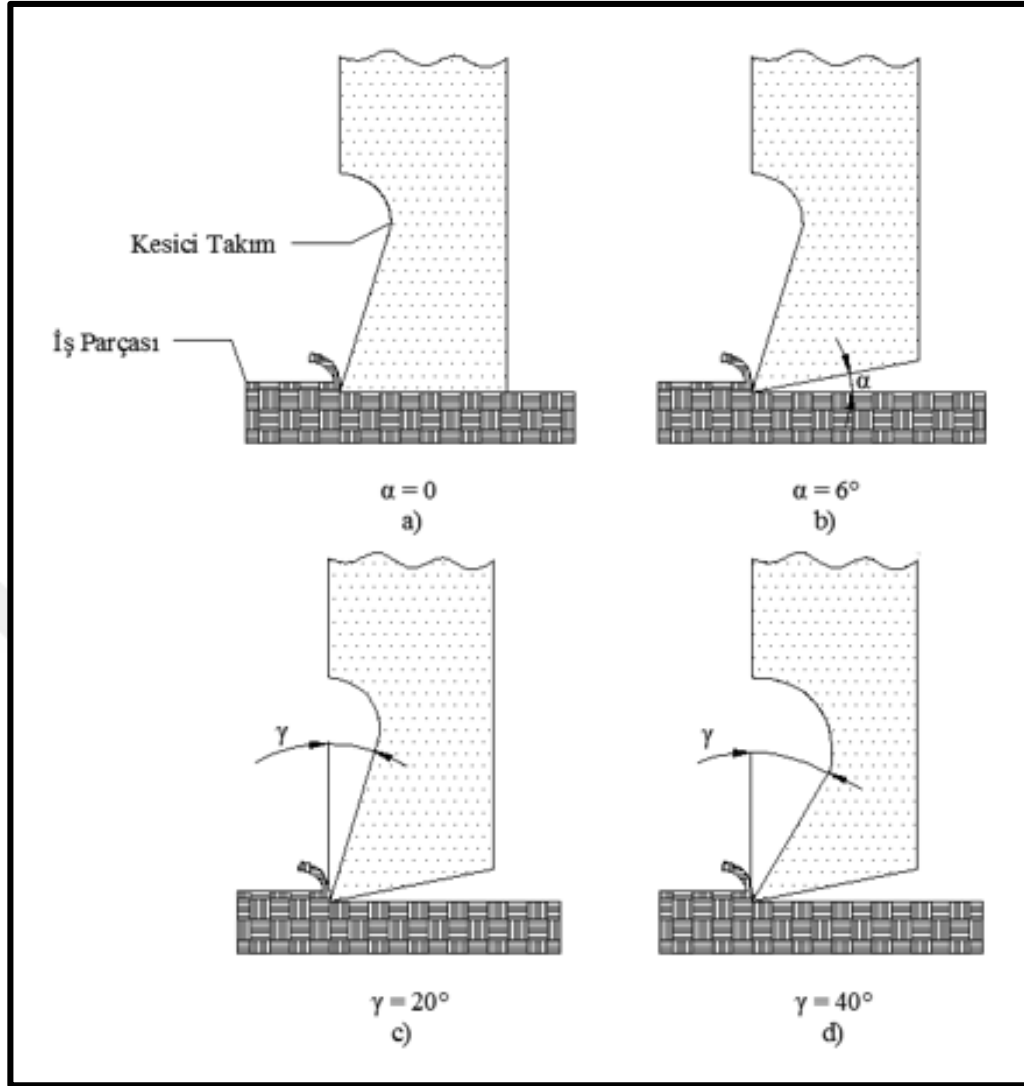
İş parçasının yumuşak ve sünek olduğu, işleme sıcaklığının düşük olduğu durumlarda oluşmaktadır. İşleme esnasında kesici takımın iş parçası üzerindeki hareketiyle talaşın tedrici olarak birikmesiyle oluşmaktadır [27]. Kesici takımın ucundan uzaklaştırılan yığıntı talaş tekrar oluşum sağlar ve bu olay periyodik olarak devam etmektedir [28].

### 3.1.2. Talaş Kaldırılmasını Etkileyen Faktörler

#### Kesici takım geometrisi

Kesici takımın geometrisini boşluk açısı ( $\alpha$ ), kama açısı ( $\beta$ ), talaş açısı ( $\gamma$ ) gibi temel açılar ile kesici takım uç yarıçapı belirlemektedir. Talaş açısı, talaşın işparçası malzemesinden uzaklaştırılmasına, boşluk açısı kesici takımın iş parçasının işlenen yüzeyine temasının engellenmesini, kama açısı ise kesici takımın işlenecek parçaya temasını sağlamaktadır (Şekil 3.3) [1,29,30]. Kesici takım ile işlenen yüzey arasında temasın ve sürtünmenin önlenenebilmesi için aralarında en az  $6^\circ$ 'lik açı olmalıdır (Şekil 3.3.b). Genellikle boşluk açısının değeri kesici takım ile iş parçasının malzemesine bağlı olarak  $3^\circ$  ve  $7^\circ$  arasında seçilmelidir [31].

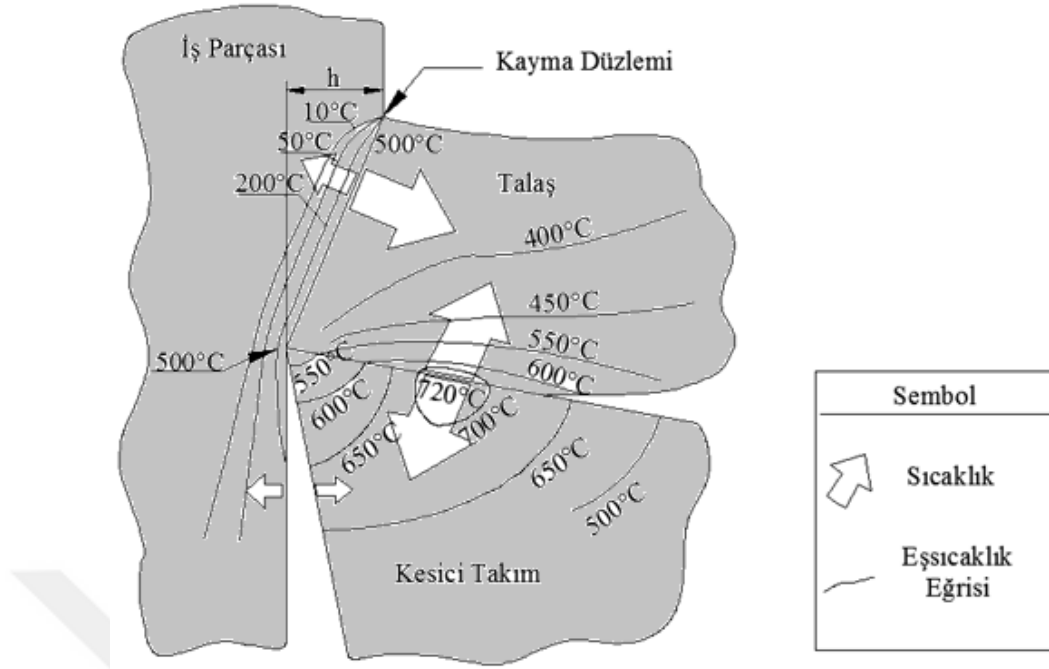
- Talaş açısının küçük olması kama açısının ise büyük olması malzemenin işlenmesini zorlaştırır. Ayrıca ısı ve sıcaklık oluşumunu ve kesme kuvvetini arttırarak kesici takım körelmesini hızlandırır (Şekil 3.3.c).
- Talaş açısının büyük olması kama açısının küçük olması ise malzemenin işlenmesini kolaylaştırır. İşleme sırasında kesme kuvveti oluşumu daha küçük olur, talaşın akması kolaylaşır ve yüksek kesme hızlarında işlem gerçekleştirilebilir. Fakat kama açısının küçük olması kesici takımın ucunun sivri olmasını sağladığından dolayı maruz kalınan kuvvetlere karşı mukavemeti düşüktür. Düşük mukavemet ise kesici takımın kırılma oranını arttırmaktadır (Şekil 3.3.d) [32].



Şekil 3.3. Kesici takım açıları [33].

#### Talaşlı imalat esnasında ısı ve sıcaklık oluşumu

İşleme sırasında malzemeden kaldırılan talaştan dolayı meydana gelen ısı ve sıcaklık, kesici takımla malzeme arasında oluşan sürtünmeden ve kesici takımla kaldırılan talaş arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı oluşmaktadır. Meydana gelen ısının bir miktarı kaldırılan talaş ile beraber iş parçası malzemesinden uzaklaşmaktadır. Kalan ısı miktarı ise iş parçası ve kesici takımda sıcaklığın artmasına neden olarak kesici takım aşınmasını artırır ve kesici takım ömrünün düşmesine neden olur. Oluşan ısı ve bu ısıdan dolayı sıcaklık geçişleri Şekil 3.4'te verilmiştir [34].



Şekil 3.4. İşleme sırasında ısı ve sıcaklığın oluşumu [34].

#### Kesici takım ömrü

Kesici takım ömrü talaşlı imalat ile ürün üretilmesinde önemli kriterlerden biridir. Kesici takımın ömrü iş parçası malzemesinin ihtiva ettiği alaşım elementlerine, kesici takımın ihtiva ettiği alaşım elementlerine, işleme parametrelerine ve takım tezgahının rijitliliğine bağlı değişim göstermektedir. İşleme sırasında meydana gelen sürtünme kesici takımda meydana gelen aşınmanın en önemli sebebidir. Sıcaklığın artışıyla aşınma oluşumu hızlanacaktır. Aşınmayı ayrıca çalışma şartları, oluşan talaş tipi ve işleme parametreleride etkilemektedir. Kesici takımın ömrüde kesici takım aşınması ile doğru orantılı olduğundan aşınmayı etkileyen bütün faktörler de kesici takım ömrünü etkilemektedir [34].

Taylor'ın geliştirmiş olduğu takım ömrü modelinde ve literatürde gerçekleştirilen işlenebilirlik çalışmalarında da olduğu gibi kesici takım ömrünü etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır. Buna bağlı olarak kesici takım ömrü ve kesme hızı arasındaki ilişkiyi Taylor Denklem 3.1'deki gibi açıklamıştır ve bu denklem günümüzde Taylor takım ömrü modeli olarak kullanılmaktadır.

$$V = C_t / T^n \quad (3.1)$$

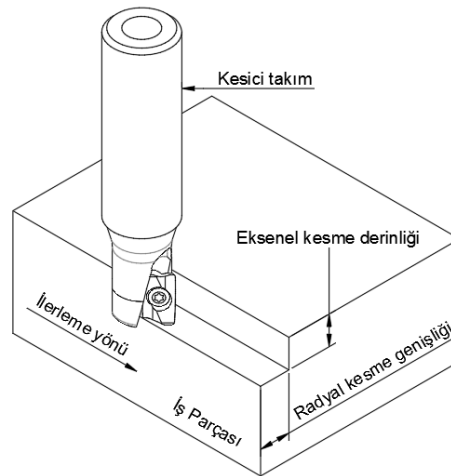
eşitliğini sağlamıştır. Burada, kesme hızını ( $V$ ) mm/dk, takım ömrünü ( $T$ ) dk, iş parçasının ve kesici takımın malzemesine göre sabitler “ $n$ ” ve “ $C_t$ ” ise taylor sabiti olarak literatürde geçmektedir [32].

### Kesme hızı

İmalat işlemlerinde kaldırılan talaş esnasında kesme yönüne doğru kesme hızı ( $V$ ) denen bir hız ilerlemektedir. Kesme hızı, iş parçası malzemesi üzerindeki noktaya göre kesici takımın birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve m/dak ile ifade edilir. İşlenebilirlik deneylerinde kesme hızını, işlenen malzeme, kullanılan soğutma sıvısı, kaldırılacak talaş derinliği, ilerleme miktarı ve kesici takımın geometrisi etkilemektedir. Dolayısıyla talaş kaldırılması için gerçekleştirilen işlemlerde kesme hızının iyi bir şekilde seçilmesi gerekmektedir [1].

### İlerleme miktarı ve talaş derinliği

Talaş kaldırılmasını etkileyen diğer faktörler ilerleme miktarı ( $f$ ) ve talaş derinliği ( $a$ )’dir. İlerleme miktarını frezeleme yöntemine göre yorumlayacak olursak, kesici takımın her bir dönüşünde iş parçası malzemesi üzerinde kat ettiği mesafedir. Talaş derinliği ise iş parçasının işlenen yüzeyine dik yönde ölçülür ve iş parçasından kaldırılan malzemenin kalınlığıdır. Frezeleme işleminde aksel ve radyal olarak iki farklı talaş derinliği bulunmaktadır (Şekil 3.5). İlerleme miktarının birimi mm/diş, talaş derinliğinin birimi ise mm’dir. Bu parametrelerden birinin değişmesi kaldırılan talaş miktarını değiştirmekte ve kesici takım ömrünü etkilemektedir [35].



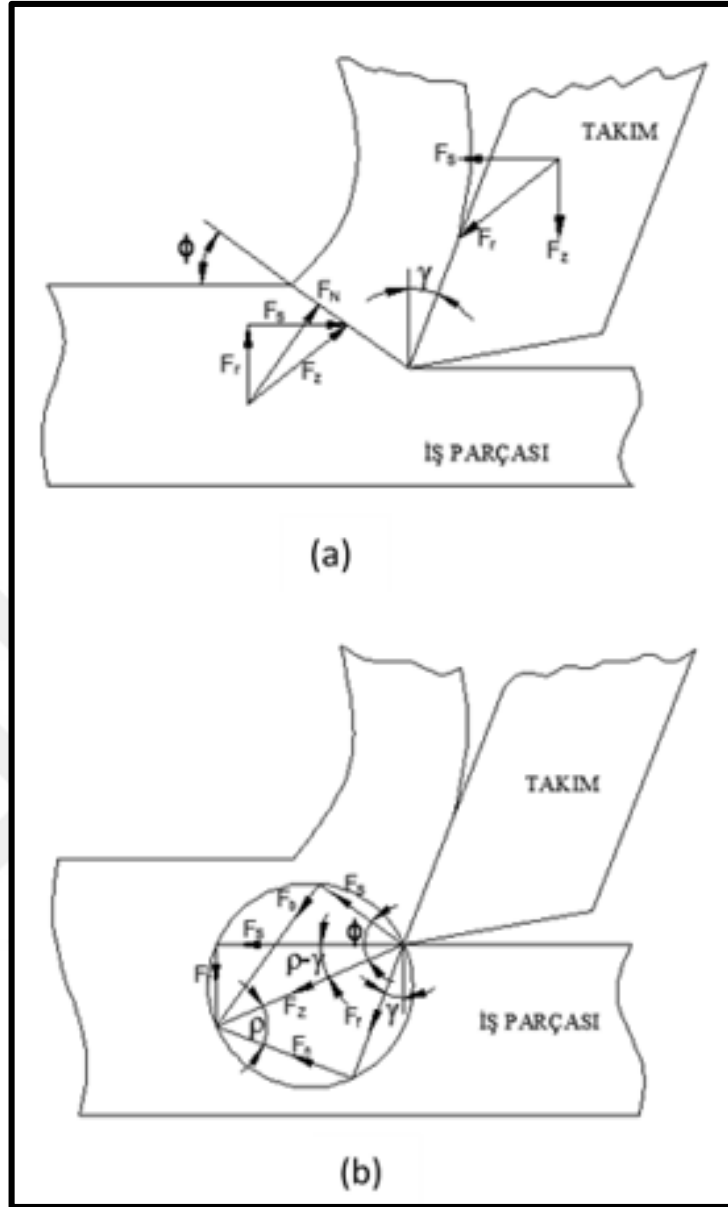
Şekil 3.5. Frezeleme işleminde talaş derinliği.

### Kesme kuvveti

Talaş kaldırılmasının gerçekleşebilmesini sağlamak için kesici takıma malzeme üzerinde kuvvet uygulanır (Şekil 3.6.a). Uygulanan kuvvet, kesici takım ile talaş ve iş parçası yüzeyinde meydana gelen dağılmış sürtünmeden oluşmaktadır (Şekil 3.6.a). Merchant diyagramına göre kesici takım kesme ucuna (Şekil 3.6.b) uygulanan kuvvetle gösterilebilir. Bu son durumda, takım ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti  $F_z$  olursa, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden oluştuğu düşünülebilir. Kesme yönünde kesme kuvveti ( $F_s$ ) ve bu yöne dik yönde radyal kuvvet ( $F_t$ ), kesme düzleminde makaslama kuvveti ( $F_k$ ) ve bu yöne dik yönde basma kuvveti ( $F_b$ ), sürtünme kuvveti ( $F_f$ ) ve bunu oluşturan normal kuvvet  $F_n$  ile  $F_z$  arasındaki  $\rho$  açısı sürtünme açısıdır, sürtünmenin katsayısı  $\mu$  ile ifade edilirse

$$\mu = F_f / F_n = \tan \rho \quad ; \quad \rho = \arctan \mu \quad (3.2)$$

dır.



Şekil 3.6. Talaş kaldırma kuvvetleri [33].

Kesme kuvveti ve kesme kesiti  $\tau_k$  iş parçası malzemesinin kesme mukavemeti olursa;

$$F_k = A_k \tau_k \quad ; \quad A_k = hb / \sin \phi \quad (3.3)$$

denklemleriyle tanımlanırsa, Şekil 3.3.b'den kesme ve radyal kuvvetler

$$F_s = hb \tau_k \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)} (x) \quad (3.4)$$

$$F_t = hb\tau_k \frac{\sin(\rho - \gamma)}{\sin\phi \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (3.5)$$

olarak bulunur.

Bu denklemlere dayanılarak, malzemeden en düşük miktarda enerji ile talaş kaldırılmasının sağlanması için kesme açısının ( $\phi$ ) optimum ( $\phi_0$ ) değeri bulunmalıdır. Buna değer;

$$\frac{dF_s}{d\phi} = 0 \text{ dan } \phi_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\rho - \gamma) \quad (3.6)$$

denklemleri ile bulunur. Ayrıca bu denklemler ile  $F_s$  ve  $F_t$  kuvvetleri,

$$F_s = hb\tau_k \frac{2}{\tan\phi_0}; \quad F_t = hb\tau_k \left[ \frac{1}{\tan^2\phi_0} - 1 \right] \quad (3.7)$$

denklemleri ile ifade edilir.

## BÖLÜM 4

### İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

#### 4.1. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, talaşlı imalat ile şekil verilmek istenilen malzemenin özelliklerini seçilen bir yöntem ve gerekli işleme parametrelerine göre işleme esnasında bu değişkenlerin sergilediği davranış olarak açıklanabilir. Yani işlenebilirlik yalnızca iş parçasına değil işleme parametrelerine ve işleme yönteminde bağlıdır [18,23].

##### İşlenebilirliğin ölçülmesinin kriterleri

İş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında belirli kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler;

- Kesici takım ömrü
- Kesme kuvvetleri ve harcanan güç veya enerji
- İşlenmiş yüzey kalitesi [18,36].

İşlenebilirliğin ölçülmesi için kesin kabul edilen genel bir yöntem ve/veya standart bulunmamaktadır. Fakat kesici takım ömrü ile ilgili standartlara göre işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilebilir. İşlemeli ve işlemesiz olarak işlenebilirlik deneylerini iki grupta inceleyebiliriz.

##### İşlemeli deneyler

Seçilen iş parçası malzemesinin işlenebilirlik ölçümü aşağıda verilenlere göre yapılabilir.

- Kesici takım ömrü
- Kesme hızı
- Kesme kuvvetleri ve güç tüketimi
- İşlenen yüzeyin kalitesi

- Oluşan talaşın şekli

### İşlemsiz deneyler

İşlemsiz deneyler, işlemeli deneylere göre daha az zaman alır ve genellikle daha kısa deneylerdir. Bunlar;

- Kimyasal bileşim deneyi
- Mikroyapı deneyi
- Fiziksel özellik deneyi [37].

#### **4.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler**

Malzemelerin işlenebilirliğini, kullanılan ısıtma işlemi, malzemenin mikroyapısı, kullanılan alaşım elementleri ve malzemenin mekaniksel özellikleri etkilemektedir [38].

#### **4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ**

İşleme yöntemi, kesici takım malzemesi ve iş parçası malzemesine göre işlenen yüzeylerde itenilmeyen izler meydana gelmektedir. Nominal yüzeyin gösterilmesi için verilen çizginin altında ve üzerinde düzensiz sapmaları oluşturan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denilmektedir. İşlenen yüzeyler, işleme yönteminin değişmesine rağmen yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmaz durumdur. İşlenen yüzeyin kalitesi, iş parçası malzemesi üzerinde kesme işlemi gerçekleşmesini sağlayan kesici takımların oluşturduğu baskılardan kesici takımların bıraktığı izlerin düzensizliği olarak ifade edilmektedir [1].

##### **4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu**

Talaşlı imalat ile yapılan işlemlerde yüzey pürüzlülük değerini etkileyen iki bağımsız değişken bulunmaktadır.

### İdeal yüzey pürüzlülüğü

İşleme esnasında kesici takımında meydana gelen hatalar, vuruntular ve takımında oluşan BUE gibi etkenlerin azaltılmasıyla kesici takımın uç formuna ve kesici takımın ilerlemesine bağlı olarak oluşturulan en iyi bitirme yüzeyinin değerini göstermektedir. Yüzey pürüzlülük değerlendirilmesinde en kullanışlı olan yöntemdir [38].

### Tabii yüzey pürüzlülüğü

Tabii yüzey pürüzlülüğü, esas yüzey pürüzlülüğün büyük bir kısmını meydana getirmektedir. Bu değeri, işleme koşulları, takım tezgahının rijitliliği etkiler. Ayrıca kesici takımında oluşan BUE’de tabii yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir [33].

### Yüzey pürüzlülük değerini ölçme teknikleri

Yüzey pürüzlülüğü işlenebilirlik deneylerinde ölçülen kriterlerden biridir. Bu nedenle ölçümün yapılabilmesi için birden fazla yöntem geliştirilmiştir. Bunlar;

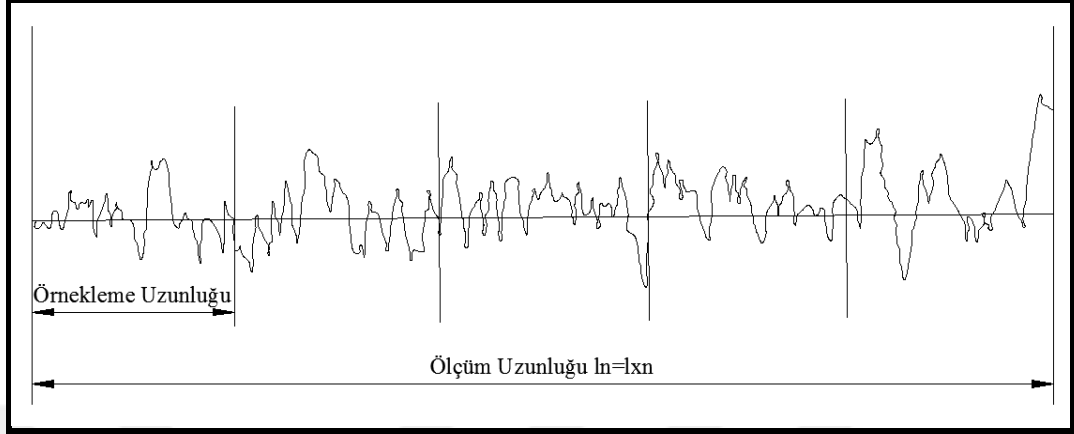
- Temas yöntemi
- Mekanik yöntem
- Hidrolik yöntem
- Yüzey dinamometresi yöntemi
- X ışını yöntemi
- Elektron mikroskopu yöntemi
- Kopyalama (Replika) yöntemi
- Elektro fiber optik yöntemi
- İzleyici uçlu cihazlar ile ölçüm yöntemi
- Optik yöntem [39].

## **4.2.2. Pürüzlülük Parametreleri**

### **4.2.2.1. Örnekleme Uzunluğu Ve Örnekleme Sayısı**

Şekil 4.1’de verilen örnekleme uzunluğu ( $l$ ) kesici takımın ilerleme miktarını temsil edecek şekilde seçilmesi gereklidir. Ölçüm uzunluğu, profilde üstünde verilen bütün örneklem uzunlukların birleşimi ile oluşmaktadır ve  $ln$  ile ifade edilmektedir.  $Ln$

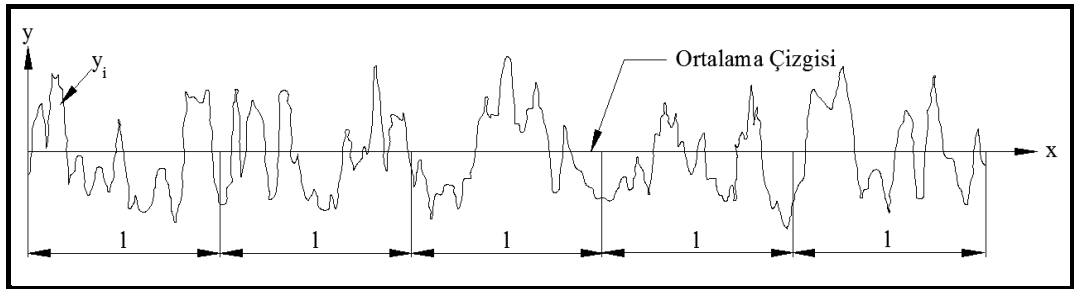
uzunluğu  $n \geq 5$  olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile n çarpılarak elde edilir ( $l_n = l \times n$ ) [40].



Şekil 4.1. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [40].

#### 4.2.2.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üzerinde ve alt kısmında kalan alanların eşit olduğu kısımdan geçen doğru olarak tanımlanır [41]. Şekil 4.2’de yüzey pürüzlülüğu üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [40].

#### 4.2.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğu (Ra)

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üzerinde meydana gelen mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya genelinde kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametreyi tanımlamak ve ölçmek kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama

ortaya koyduğu için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermemektedir.

Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [40].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (4.1)$$

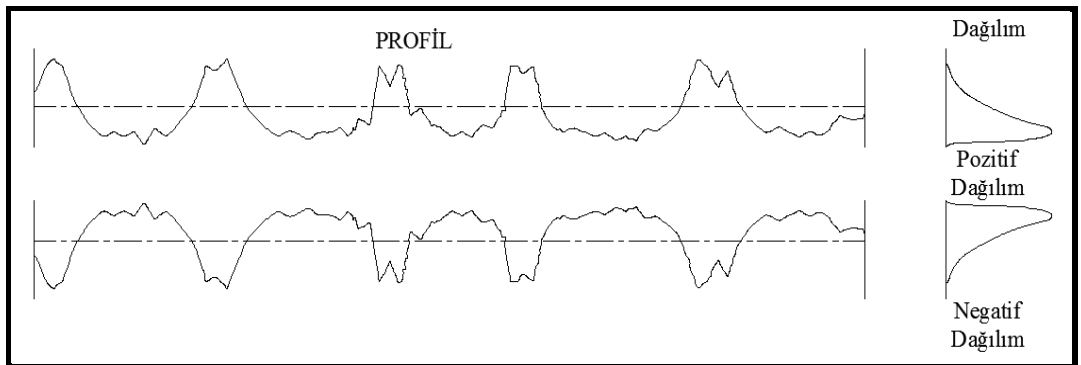
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.2)$$

#### 4.2.2.4. Genlik Dağılım Eğrisi (R<sub>sk</sub>)

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı R<sub>a</sub> ve R<sub>q</sub> değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [40].

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (4.3)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} (\sum_{i=1}^N 1 Y \cdot 1^3) \quad (4.4)$$



Şekil 4.3. Profil ve genlik dağılım eğrisi [40].

### 4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

- İşlenen iş parçası malzemesinde bağlamadan dolayı meydana gelen deformasyon,
- İlerlemenin gerçekleştiği mekanizmasında oluşan düzensizlikler,
- İşlenen iş parçası malzemesindeki yapı bozuklukları,
- Gevrek malzemelerin işlenmesi esnasında düzensiz oluşan talaş akışı,
- Talaş akışının neden olduğu bozukluk,
- Kesme hızında oluşan düzensizlikler,
- İlerleme hızında oluşan düzensizlikler,
- Kesme işlemi sırasındaki talaş derinliği,
- Kesici takımın soğutma şartları,
- İşlenen iş parçası malzemesinin kimyasal bileşiminin yapısı,
- Kesici takımın tasarımı ve geometrisi,
- Takım tezgahının rijitliliği ve çalışma koşulları,
- İşlenen iş parçası malzemesinden talaş kaldırılma biçimi [42].

#### 4.2.3.1. Kesme parametrelerinin etkileri

İşleme kalitesini etkileyen faktörleri dört grupta inceleriz. Bunlar;

- Takım tezgahına ait sapmalar;
  - Tezgahın kinematik mekanizmasında bulunan hatalardan dolayı,
  - Ana mil ile kızak yüzeyinin paralel olmaması,
  - Takım tezgahındaki tüm mekanizmalar ve yataklama sistemlerinde bulunan mevcut sapmaların ve boşlukların etkisinden,
  - Gövde ve ana milin yeterli seviyede rijit olmaması.
- Bağlama elemanlarının hataları;
  - Ana elemanların imalat hataları,

- Bağlama tertibatlarının yeterli seviyede rijit olmaması,
- Ana bağlantı elemanlarında oluşan aşınmalar.
- Kesici takım sisteminin hataları:
  - Kesici takımın konumu bakımından hatalı bir biçimde tutturulması,
  - İşleme esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinden dolayı kesici takımın şekil değiştirmesi,
  - Kesici takımda meydana gelen aşınma.
- Çalışma şartlarının etkisi altında oluşan hatalar:
  - Sıcaklığın meydana getirdiği şekil değiştirmeleri,
  - Diğer takım tezgahlarından gelen titreşimlerden kaynaklanmaktadır [33].

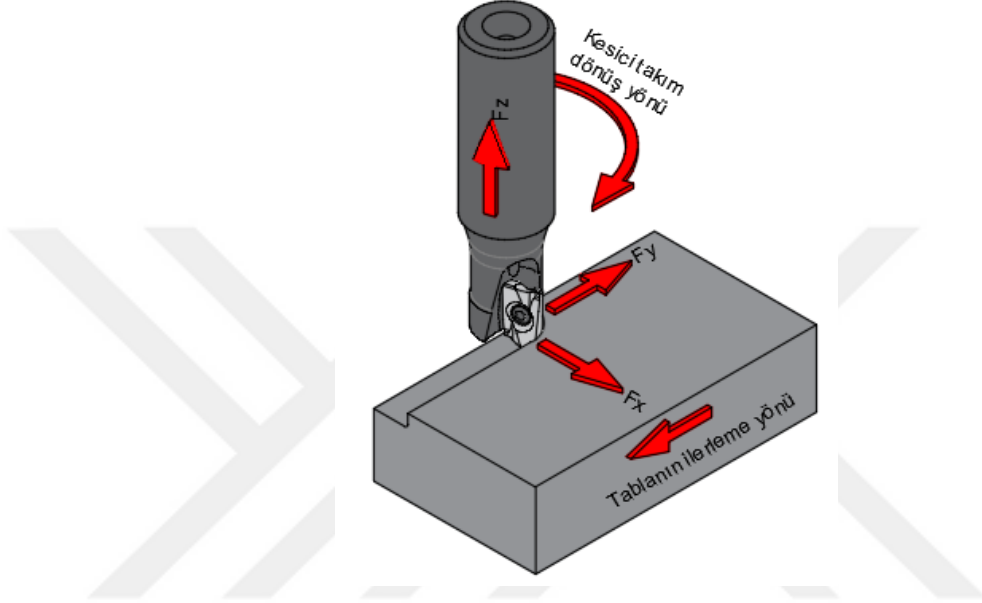
#### **4.2.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi**

Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın aşınması belirlenmesi gereken parametrelerdendir. Serbest yüzey aşınması üretilen iş parçasının çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. Kesici takımın aşınmasının belirlenmesinde temel amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaç doğrultusunda modern takım tezgahlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım, ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekmektedir. Aksi durumda üretim devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

#### **4.2.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi**

Frezelemede, talaş kaldırma esnasında oluşan dirençlerin yenilmesi için gerekli talaş kaldırma kuvveti,  $F_c$  teğetsel kuvveti,  $F_f$  ilerleme kuvveti ve  $F_r$  radyal kuvvet olmak üzere üç bileşene ayrılmaktadır (Şekil 4.4). Kesme kuvvetleri, gerek kesici takım gerekse iş parçası üzerinde bir takım şekil değiştirmelere sebep olarak kesici takım-ış

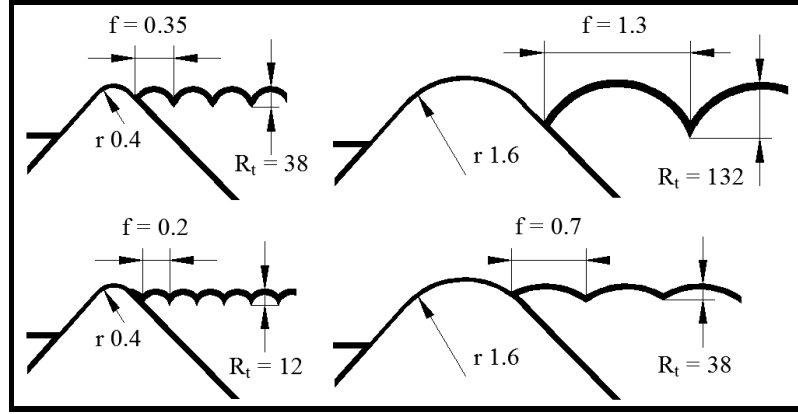
parçası konumunu değiştirerek yzey kalitesini etkilemektedir. Kesme, iş parçası-kesici takım-takım tezgahı zincirinin esnek bir sistemidir. Dolayısıyla, talaş kaldırma esnasında, kesme kuvvetlerinin değişken olmasından dolayı titreşimler oluşmaktadır. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kütü bir yzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluşturmaktadır [33].



şekil 4.4. Talaş kaldırma işleminde oluşan kuvvetler ve yönleri.

#### 4.2.3.4. İlerleme Ve Köşe Radyüsünün Etkisi

Teorik maksimum yzey pürüzlülüğü değeri ( $R_t$ ) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak arttırılabilir. şekil 4.5'te teorik yzey pürüzlülüğü ( $R_t$ ) değerinin ilerleme ( $f$ ) ve köşe radyüsüne bağlı ( $r_e$ ) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir [43].



Şekil 4.5. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri [44].

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} 1000 \quad (4.5)$$

Şekil 4.5’de ve formül (4.5)’de görüldüğü gibi daha büyük bir köşe radyüsü, aynı yüzey pürüzlülüğü değeri için daha büyük ilerleme değeriyle elde edilebilmektedir. İlerleme ve köşe radüsüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olarak adlandırılan (Ra) değeri de şekilde ki gibi ifade edilmektedir.

$$R_a = \frac{0,321}{r_\epsilon} \cdot f^2 \quad (4.6)$$

Yukarıda belirtildiği gibi kesme hızı, ilerleme hızı ve köşe radyüsü yüzey kalitesinin elde edilmesinde ana faktörleri oluşturmaktadırlar. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [45].

## BÖLÜM 5

### KALIPÇILIK VE PLASTİK KALIP ÇELİKLERİ

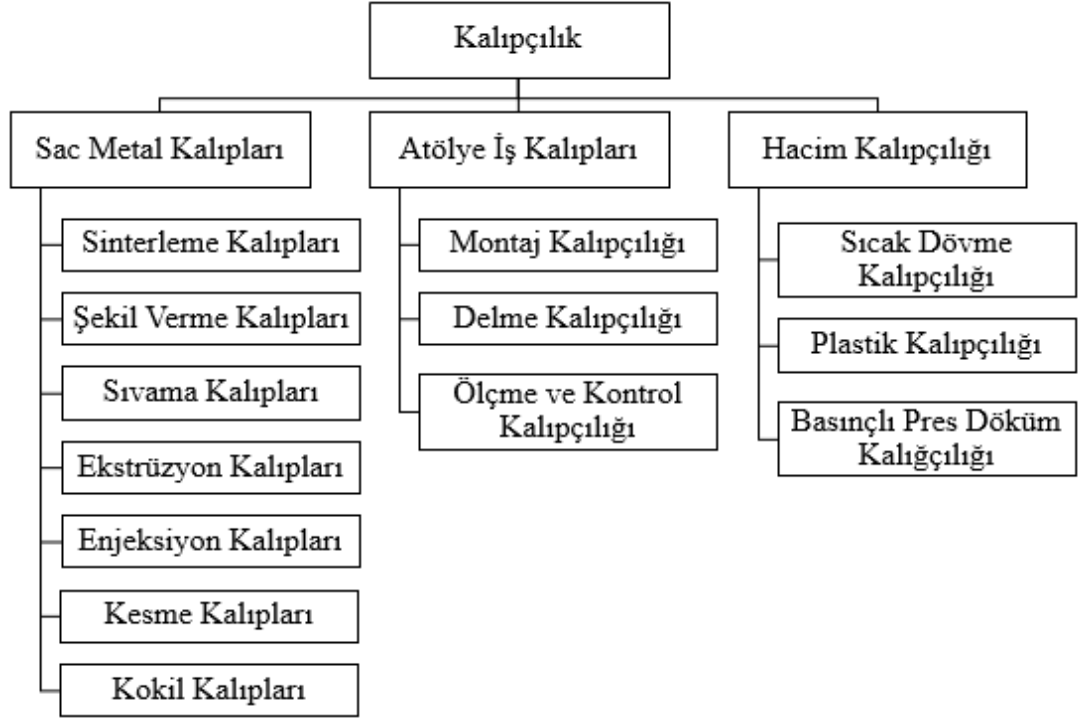
#### 5.1. KALIPÇILIK

Günümüzde gelişmekte olan teknoloji ile imalat endüstrisinde önemli yer kaplayan ve gelişen sektörlerden biri olan kalıpcılığın kolaylıkla açıklanabilmesi zordur. Bunun nedeni kalıpcılığın günlük hayatımızın içerisine girmiş birçok parçanın imalatını gerçekleştiren sektörlerden biri olmasıdır. Günlük hayat içerisine giren bu parçaların imalatında, zaman, kalite ve ölçü tamlığının sağlanması kalıpcılık ile yapılmaktadır. Ayrıca kalıp yoluyla üretim otomotiv, beyaz eşya ve elektronik aletlerin üretimi gibi pek çok sanayide yapılmaktadır [46,47].

Kalıp ve kalıpcılık ifadeleri genel olarak tanımlanacak olursa; üretilmesi istenilen parçaların özdeş ve ölçü tamlığı içerisinde metal ya da metal olmayan malzemelerin kullanılması ile üretimin seri bir şekilde gerçekleştirilmesi ve ham malzeme sarfiyatını minimum seviyede olmasını sağlayan ve takım tezgahlarıyla çalışan sistemlere kalıp denilir. Kalıp sisteminin tasarımını ve imalatını yapan kişiye ise kalıpcı denilir [46].

Kalıpların ve takım tezgahlarının konstrüksiyonlarının tasarımı ve imalatı ekonomiklik açısından oldukça önemlidir. Üretimi gerçekleştirilecek olan parçaların geometrik şekilleri ve üretilecek sayılarının mümkün olduğu kadar fazla miktarda olmasına olanak veren bir biçimde kalıbın tasarımı yapılmalıdır. Uygun bir kalıp çeliğinden ideal bir biçimde işlenerek ve ısıl işlem görerek kalıpların tasarımının yapılması eğer hatalı bir şekilde gerçekleştirilirse istenilen parçanın üretim sayısına ulaşmadan kalıbın erken bir şekilde kırılmasına neden olur. Bu sebeple zaman kaybının ve maliyetin azaltılması için kalıpların iyi bir tasarıma sahip olması ve ısıl işleminin iyi yapılması gereklidir [46,47].

Temelde amacı farklı olmayan, fakat çalışma sistemleri ve ürettikleri ürünler bakımından birbirlerinden farklılı gösteren kalıpcılığın sınıflandırılması aşağıda gibi yapılabilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Kalıpcılığın sınıflandırılması [46,47].

## 5.2. PLASTİK KALIP ÇELİKLERİ

Plastik kalıp çelikleri korozyon dirençleri ve parlatılabilme özellikleriyle diğer kalıp çelikleri arasında öne çıkmaktadır. Endüstride genellikle ekstrüzyon ve plastik enjeksiyon gibi şekil verme kalıplarda, kalıp parçalarında ve şişirme kalıplarında kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılanları DIN standartında 1.2738, 1.2083, 1.2311, 1.2312 ve 1.2316 kalıp çelikleridir. Plastik kalıp çeliklerinin birçoğu takım çeliği kalitesinde imal edilen alaşımlı sementasyon çeliği olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal bileşimlerinde ana alaşım elementleri krom (Cr) ve Nikel (Ni) elementleridir. Yardımcı elementler ise alüminyum (Al) ve molibden (Mo) elementleridir. Plastik kalıp çeliklerinin genel itibarı ile kızıl sertlikleri kötüdür, dolayısıyla düşük sıcaklıklarda çalışan plastik enjeksiyon kalıplarının kullanım ömürlerinin uzun süreli olmasının beklentisi olmadan kullanılmaktadır. Üretimleri

aşamasında sertleştirilerek üretilmesinden dolayı tekrardan ısı işleme tabi tutulmasına gerek duyulmaz ve bu nedenle boyut değişimlerinden önlenmiş olur. Talaşlı imalat işlemleri sonrasında nitrasyon işlemi yapılarak kullanıma uygundur [48]. Yaygın olarak kullanılan plastik kalıp çeliklerinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yaygın olarak kullanılan plastik kalıp çeliklerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri [49].

Malzeme (DIN Standartı)	Sertlik (HRC)	Elastikiyet modülü (kN/mm <sup>2</sup> ) (20°C)	Isıl İletkenlik (W/mK) (20°C)
1.2738	28-32	210	16,5
1.2083	20-24	210	17,5
1.2311	30-33	210	49,8
1.2312	29-34	210	34,0
1.2316	30-36	210	34,0

### 5.2.1. Alaşım Elementlerinin Kalıp Çeliklerine Etkisi

Plastik kalıp çeliklerine çeşitleri alaşımlama elementlerinin ilavesi ile istenilen özelliklerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Alaşımlama elementleri ve kullanım amaçları aşağıda belirtilmiştir.

#### Karbon (C)

Karbon elementi çeliklerde temel alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Çeliğin ihtiva ettiği karbon oranının artmasıyla çelikte akma ve çekme mukavemeti artarken, çeliğin yüzde uzaması, şekillendirilebilmesi ve kaynak kabiliyeti azalmaktadır.

#### Mangan (Mn)

Mangan çeliklerde dayanımın arttırmak için kullanılmaktadır. Ayrıca çeliklerde sertleşebilme özelliğini ve kaynak edilebilme özelliğini arttırırken, talaş kaldırma ve soğuk şekillendirilebilme özelliğini azaltmaktadır.

### Kobalt (Co)

Kobalt, karbür oluşturucu alaşım elementlerinin östenit fazında çözümlene yeteneklerini arttırmaktadır. Çeliklerin yüksek çalışma sıcaklıklarında sertliklerini koruma yeteneklerini de olumlu etkilemektedir.

### Fosfor (P)

Fosfor çeliklerin darbe-çentik dayanımını azaltarak çekme mukavemetlerini ve korozyona karşı dirençlerini arttırmaktadır.

### Kükürt (S)

Kükürt genellikle çeliklerin bileşiminde istenmeyen bir alaşım elementi olup şekillendirilebilirliği olumlu yönde etkilemektedir, bu nedenle talaşlı imalat yöntemi ile şekillendirilmek istenen çeliklerin bileşiminde oldukça düşük oranda kullanılmaktadır. Kükürt oranı arttıkça çeliklerde darbe-çentik dayanımları düşmektedir.

### Krom (Cr)

Kromun en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılmasıdır. Krom, çeliğe sertlik kazandırarak kırılma ve darbelere karşı çeliklerin direnci arttırmaktadır. Aşınma ve oksitlenmeye karşı da koruma sağlamaktadır.

### Molibden (Mo)

Molibden çeliklerin sertleşebilme özelliklerini, çekme dayanımlarını ve aşınma dirençlerini artırır. Çelikleri ısıya dayanıklı hale getirerek kaynak edilebilme özelliklerini artırır.

### Nikel (Ni)

Nikel çeliklerin direncini silisyum ve mangana kıyasla daha az oranda artırır fakat çeliklerin bileşiminde krom ile birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli paslanmaz çelikler tufallanmaya ve ısıya karşı oldukça dayanıklıdırlar.

### Vanadyum (V)

Vanadyum güçlü bir karbür oluşturucu elementtir. Azot ile birleşerek nitrürleri oluşturduğundan çeliklerde tane küçültücü olarak kullanılır bu nedenle çentik tokluğunu yükseltir. Aynı zamanda çeliklerin sertleşebilme kabiliyetini ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımlarını arttırır.

### Wolfram (W)

Çeliklerin aşınma direncini yükseltir ve sıcak sertliklerini koruyabilme özelliklerini arttırır. eliklerde tane inceltici olarak etki eder. Takım eliklerinde kesici kenar sertliğinin artmasını ve takım ömrünün uzamasını sağlar.



## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOT

#### 6.1. DENEY MALZEMELERİ

Deneyleerde kullanılan P20Ni kalıp çeliği, termoset plastiklerin şekillerindirilmesinde, plastik enjeksiyon kalıp ve maçalarında, ekstrüzyon kalıpları ile çeşitli kesici takım ve tutucularında kullanılmaktadır. P20Ni'nin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1'de fiziksel ve mekaniksel özellikleri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir.

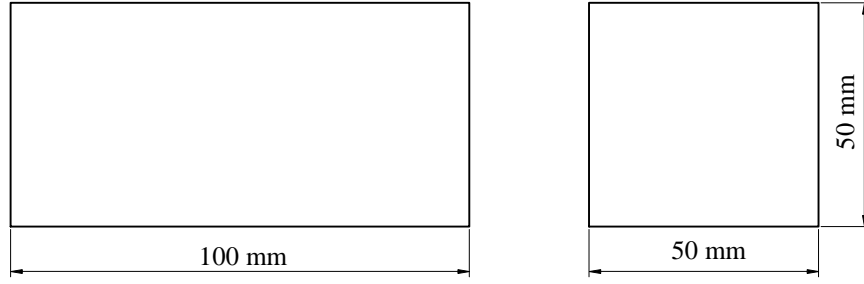
Çizelge 6.1. P20Ni kalıp çeliğinin kimyasal içeriği [50].

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
P20Ni	0,40	0,30	1,50	0,030	0,030	2,00	1,1	0,20

Çizelge 6.2. P20Ni kalıp çeliğinin fiziksel ve mekaniksel özellikleri [51].

Normalizasyon (°C)	850-1080
Özgöl Ağırlığı	20 °C'de 7,85 kg/dm <sup>3</sup>
Isıl İletkenlik	20 °C'de 33.0 W/(m.K)
Sertliği (HRC)	28-32

Deneysel çalışmalarda kullanılan iş parçası malzemesinin boyutları Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. İş parçası boyutları.

## 6.2. KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCUSU

Deneysel çalışmalarda KYOCERA tarafından üretilen BDMT 11T304ER-JT geometrisinde karbür kesici takımları kullanılmıştır. Kullanılan kesici takımın bazı özellikleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kullanılan kesici takım ve özellikleri.

Kesici takım kodu	Kalitesi	Boşluk açısı	Kesici takım geometrisi
BDMT 11T304ER-JT	P20	18 <sup>0</sup>	

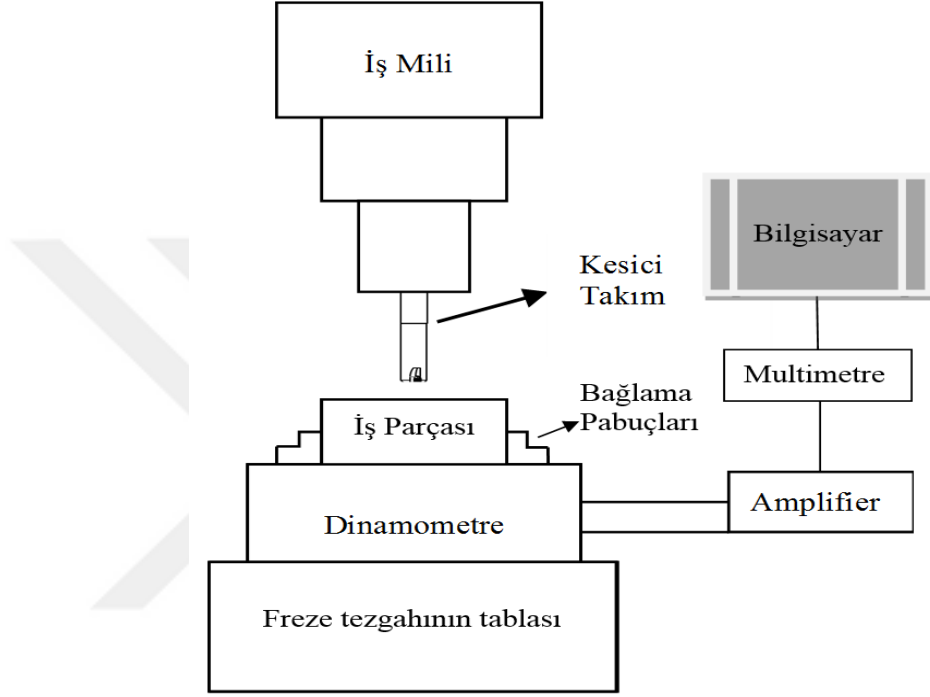
Deneylerde kullanılan kesici takımlar, Şekil 6.2'de resmi verilen değiştirilebilir uçlu parmak freze mekanik olarak bağlanmıştır. Değiştirilebilir ucu parmak freze de dik işlem merkezine rijit bir şekilde pens ve tezgah koniğine uygun bir takım tutucu vasıtasıyla. Yapılan bütün deneylerde takım taşma uzunluğu sabit tutulmuştur.



Şekil 6.2. Değiştirilebilir uçlu parmak freze [52].

### 6.3. DENEY DÜZENEGİ

Bu deney için yapılan işlenebilirlik çalışmaları Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği'ne ait CNC laboratuvarında bulunan CNC dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ait şematik gösterim Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Deneilerin gerçekleştirildiği deney düzeneği.

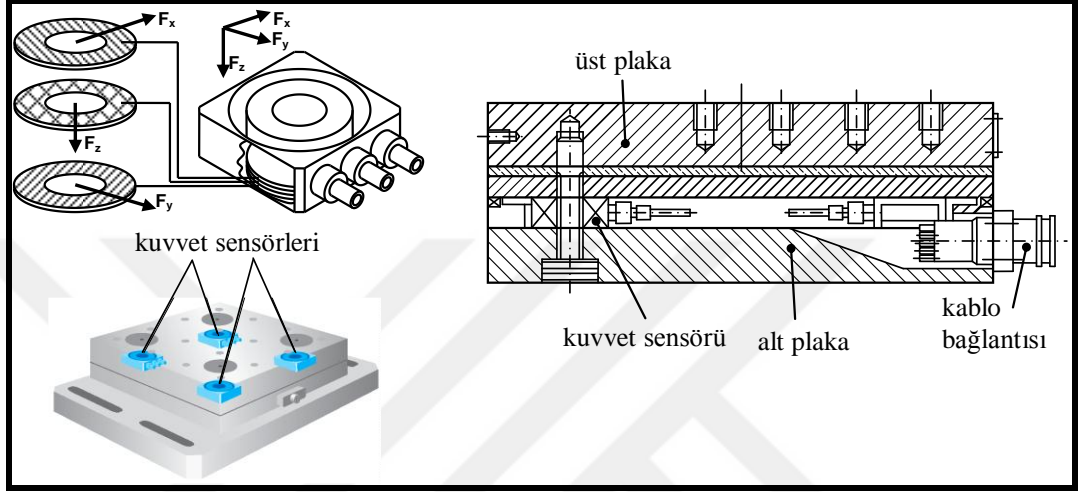
Kullanılan CNC dik işlem merkezinin özellikleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Deneilerin yapıldığı CNC dik işlem merkezinin özellikleri.

Model	Johnford VMC-550 Dik İşlem merkezi
Kontrol tipi	Fanuc O-M serisi
X, Y, Z eksen hareketi	500x500x450 mm
Hassasiyeti	0,001 mm
Devir sayısı (En yüksek)	6000 dev/dk
Motor gücü	10 HP (7,5 kW)
X-Y-Z hızlı ilerleme	15-15-12 m/dak

## 6.4. KESME KUVVETİNİN ÖLÇÜLMESİ

Deneysel çalışmalar sırasında meydana gelen kesme kuvveti değerleri Kistler 9257B tipi dinamometre (Şekil 6.4) ile ölçülmüş olup teknik özellikleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Kistler 9257B dinamometresinde bulunan elemanlar [30].

Çizelge 6.5. Kistler 9257B dinamometresinin teknik özellikleri.

Cihaz/Donanım	Özellik
Dinamometre	Kistler 9257B, $F_x$ , $F_y$ , $F_z \pm 5$ kN, boyut: 170x100x60 mm
Amplifier (Yükselteç)	Kistler 5070A, 8 Kanaldan very alma, $\pm 10$ V
Veri okuma kartı	CIO DAS 1602/12 Kart, 8 analog kanal, 1,25-2,5-5-10 V ölçüm aralığı
Yazılım	DynowareVeri sayısı/süresi ayarlama, grafik oluşturma

## 6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

İşleme deneylerinden sonra oluşan yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini (Ra) ölçmek için, bir Mahr marka Marsurf PS1 model taşınabilir tip cihazla yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri her bir yüzey için üçer defa tekrarlanmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçüm yapılan cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.

<b>Ölçüm yöntemi</b>	İzleyici uç yöntemi
<b>Tarama hızı</b>	0,5mm/sn
<b>Ölçüm Kuvveti</b>	4 mN
<b>Ölçüm sıcaklığı</b>	20 °C± 1 °C
<b>Numunenin uzunluğu</b>	0,8 mm
<b>Ölçüm uzunluğu</b>	4 mm
<b>İzleyici ucun yarıçapı</b>	5 µm

## 6.6. DENEYSEL PARAMETRELER

Deneyler dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı ve iki farklı talaş derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney değişkenleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Deney değişkenleri.

<b>Kesme Şartı</b>	<b>Parametre/Özellik</b>
Kesici Takım	Kaplamasız karbür
Kesme Hızı (m/dak.)	120-160-180-200
İlerleme miktarı (mm/diş)	0,08-0,12-0,18-0,27
Talaş derinliği (mm)	0,5-1
Radyal kesme genişliği (mm)	8
Kesme boyu (mm)	100
Kesici takım tutucu çapı (mm)	16
Kesme yöntemi	Alın Frezeleme

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan işlenebilirlik deneylerinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğine bağlı olarak değişen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Deneylerde P20Ni kalıp çeliği kullanılmış olup kesici takım olarak da sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Çalışmalarda kesici takım firmasının önerdiği işleme parametreleri ortalama kabul edilerek alt ve üst değer parametrelerin etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan işleme parametreleri ve bu parametreler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile kesme kuvveti değerleri Çizelge 7.1’de verilmiş olup ayrıntılı inceleme alt başlıklarda gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin üç bileşeninde (X, Y, Z yönlerinde) ölçülmüştür. Ancak ölçülen kuvvetler arasında en yüksek değerler Y (ilerleme yönü) ekseninde meydana geldiğinden dolayı kesme kuvvetinin bu Y (F<sub>y</sub>) yönündeki bileşeni dikkate alınmıştır.

Çizelge 7.1. Deneysel veriler.

Malzeme	Kesici Takım	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (mm/diş)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (µm)	Kesme Kuvveti Y eksen (N)
P20Ni	Sementit Karbür	0,5	0,08	120	0,457	71,98
				160	0,641	63,10
				180	0,622	54,67
				200	0,448	47,85
			0,12	120	1,055	71,17
				160	0,714	66,14
				180	0,759	58,30
				200	0,747	53,78
			0,18	120	1,604	74,52
				160	1,114	70,96
				180	1,055	61,70
				200	1,362	63,80

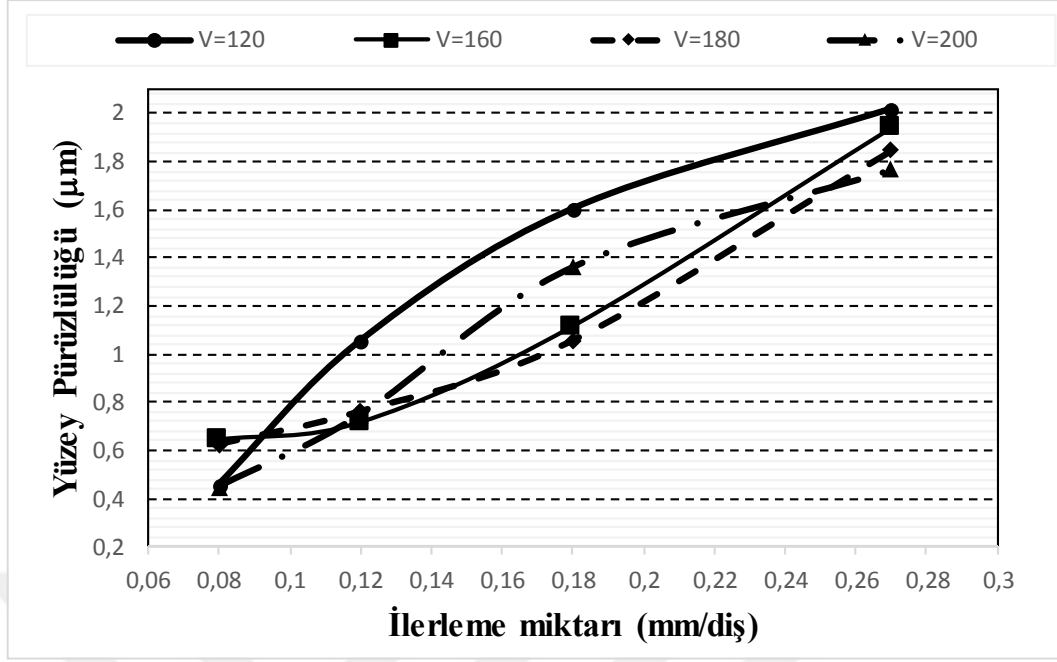
Çizelge 7.1. (devam ediyor).

Malzeme	Kesici Takım	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (mm/diş)	Kesme Hızı (m/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	Kesme Kuvveti (N)
P20Ni	Sementit Karbür	0,5	0,27	120	2,020	78,01
				160	1,940	73,38
				180	1,847	62,84
				200	1,767	67,76
		1,0	0,08	120	0,598	134,60
				160	0,540	116,80
				180	0,756	85,98
				200	0,667	75,88
			0,12	120	0,777	138,70
				160	0,886	121,50
				180	1,263	96,94
				200	0,920	70,25
			0,18	120	1,196	141,40
				160	1,256	128,10
				180	1,461	99,06
				200	1,679	88,87
			0,27	120	1,895	146,10
				160	1,780	135,00
				180	1,706	111,86
				200	2,269	94,64

## 7.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü her deney sonucunda üç farklı bölgeden alınarak ortalama değerleri alınmıştır. P20Ni kalıp çeliği için yüzey pürüzlülük değerleri dört farklı kesme hızı iki farklı talaş derinliği ve dört farklı ilerleme miktarında yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir.

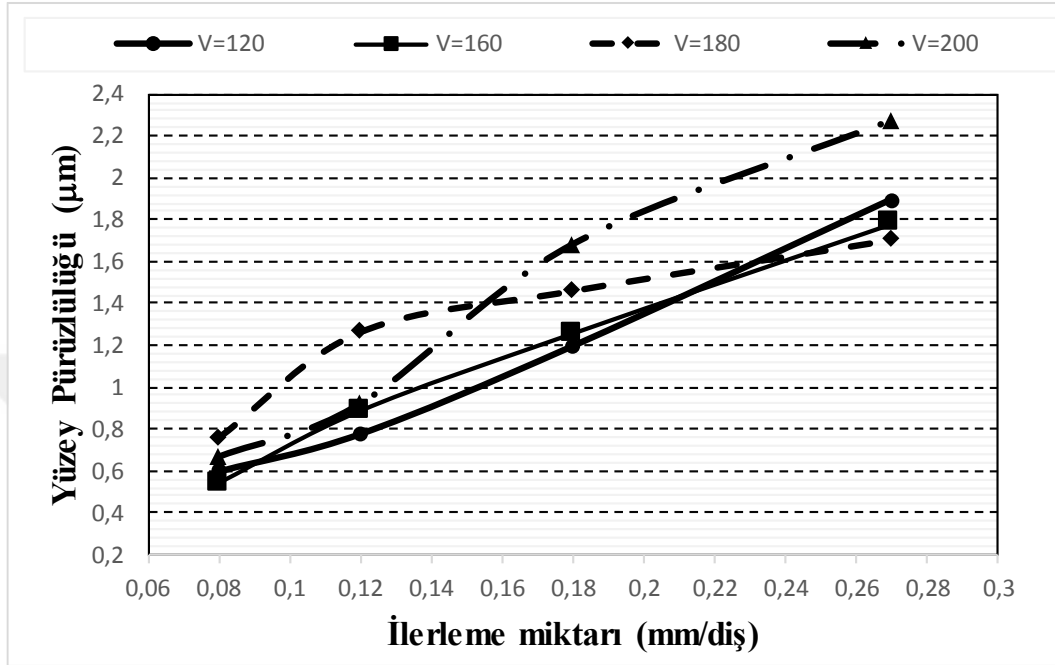
0,5 mm talaş derinliğinde yapılan deneyler sonucu kesme hızları ile ilerleme miktarlarına göre elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin değişim grafiği Şekil 7.1’de verilmiştir.



şekil 7.1. 0,5 mm talaş derinliğinde yapılan deneyler sonucu oluşan ortalama yüzeY pürüzlülüğü.

Ortalama yüzeY pürüzlülük grafiğinin genel olarak incelenmesi sonucu ilerleme miktarının artmasıyla beraber yüzeY pürüzlülüğünde arttığı gözlenmektedir. En yüksek pürüzlülük değerinin (2,020 µm) 120 m/dak kesme hızında ve 0,27 mm/diş ilerleme miktarında meydana geldiği görülmüştür. En düşük pürüzlülük değeri (0,457 µm) ise 120 m/dak kesme hızı 0,08 mm/diş ilerleme miktarında meydana geldiği görülmektedir. En yüksek yüzeY pürüzlülük değeri ilerleme miktarının en yüksek değerinde oluşu, kesici takımın iş parçası malzemesi üzerinden kaldıracakı talaş hacminin atmasıyla kesici takımda meydana gelen titreşimden dolayı kaynaklanmaktadır. En düşük yüzeY pürüzlülük değeri ile en yüksek yüzeY pürüzlülük değeri arasında %332'lik değişim gözlenmiştir. İşleme parametrelerine göre gerçekteşen en büyük değişim %74 ile 160m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,18 mm/diş'ten 0,27 mm/diş'e arttırılmasıyla gözlenmiştir. En düşük değişimin (%11) ise 160 m/dak kesme hızında 0,08 mm/diş ilerleme miktarından 0,12 mm/dişilerleme miktarına artışında gözlenmiştir. Bütün işleme parametreleri için yapılan değerlendirmelere göre 120 m/dak kesme hızı haricindeki kesme hızlarında oluşan grafikler birbirlerine benzemekte ve artış grafiği oluşurmaktadır. Fakat 120 m/dak kesme hızında ise azalma grafiği oluşmaktadır. Bu düşük kesme hızlarında yığıntı talaş oluşumuna atfedilebilir.

Talaş derinliğinin 1 mm olarak yapılan işlenebilirlik deneylerinde ilerleme miktarına ve kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük değişiminin grafiği Şekil 7.2’de verilmektedir.



Şekil 7.2. 1 mm talaş derinliğinde yapılan deneyler sonucu oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü.

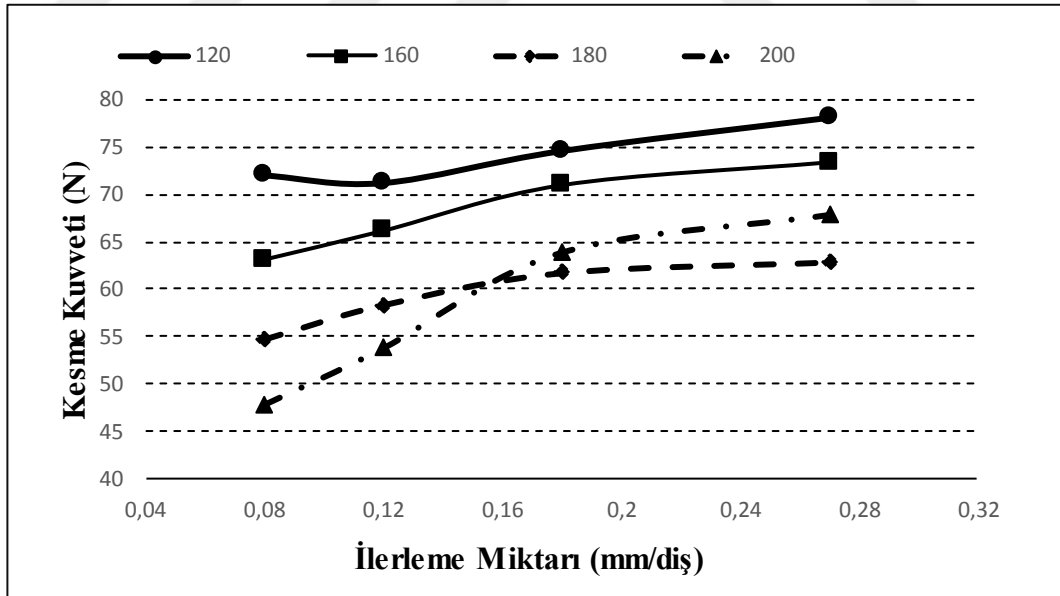
Şekil 7.2’deki grafik incelendiğinde genel olarak ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüklerinin değerleride artmıştır. Grafikteki verilere göre en yüksek değer (2,269  $\mu\text{m}$ ) 200 m/dak kesme hızı 0,27 mm/diş ilerleme miktarında meydana gelmiştir. En düşük (0,540  $\mu\text{m}$ ) ise 120 m/dak kesme hızında 0,12 mm/diş ilerleme miktarında görülmüştür. Deneylerin sonucunda en yüksek ve en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin arasında %320’lik değişim meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin her bir işleme parametresine göre incelendiğinde en yüksek değişim %35 ile 200 m/dak kesme hızı ile yapılan deneyler ilerleme miktarının 0,18 mm/diş’ten 0,27 mm/diş’e arttırılmasında görülmüştür. En düşük değişim ise %29 olarak 120 m/dak kesme hızında 0,08 mm/diş ilerleme miktarından 0,12 mm/diş ilerleme miktarına artışında gözlenmiştir.

## 7.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESME KUVVETİNE ETKİSİ

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda yöntem frezeleme işlemidir. Frezeleme yöntemi ile gerçekleştirilen deneyler sırasında meydana gelen kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Kesme kuvveti değerlerinin her bileşeni (X, Y, Z yönlerinde) değerlendirilmiştir. Fakat elde edilen veriler sonucunda en yüksek kesme kuvveti değerleri ilerleme yönü olan Y ekseninde meydana gelmiştir. Bunun nedeni ilerleme yönümüzün Y eksenin yönünde olmasıdır. Bu nedenle Y eksenine dikkate alınmış olup kesme hızının ve ilerleme miktarının kesme kuvvetine etkilerinin grafikleri çizilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

### 7.2.1. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

0,5 mm kesme derinliğinde farklı kesme hızlarında (120, 160, 180 ve 200 m/dak) ve ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerine etkisi Şekil 7.3'te verilmiştir.

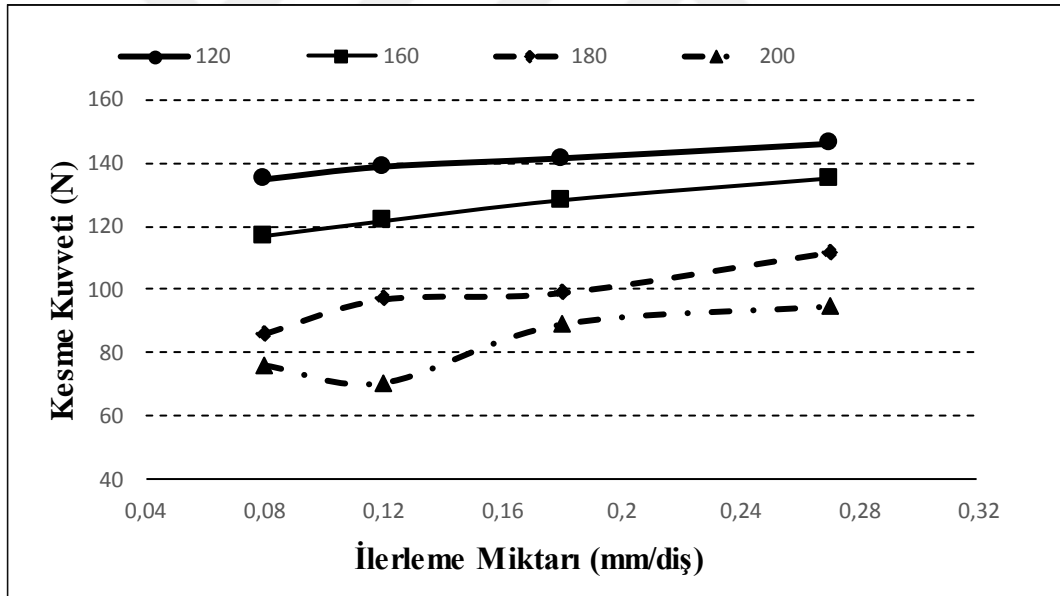


Şekil 7.3. 0,5 mm talaş derinliğinde ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fy bileşenine etkisi.

Şekil 7.3'teki grafikte genel olarak göre 0,08 mm/diş ilerleme miktarından 0,18 mm/diş ilerleme miktarına kadar artışında kesme kuvvetlerinde artış görülmektedir.

Bunun nedeni olarak, ilerleme miktarının artışıyla kaldırılan talaş kesitinde artma olabilir [53]. Yapılan çalışmalarda meydana gelen en düşük kesme kuvveti değeri 0,08 mm/diş ilerleme miktarı 200 m/dak kesme hızında 47,85 N olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme kuvveti değeri ise 78,01 N olarak 120 m/dak kesme hızı 0,27 mm/diş ilerleme miktarında ölçülmüştür. En yüksek kuvvet değeri ile en düşük kuvvet değeri arasında en küçük kuvvete göre %63'lük bir değişim meydana gelmiştir. İki parametre arasındaki en büyük değişim 200 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,12 mm/diş'ten 0,18 mm/diş'e artışıyla %18'lik bir değişim meydana gelmiştir. En düşük değişim ise geldiği 120 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,08 mm/diş'ten 0,12 mm/diş'e artışıyla %0,1'lik sapma oluşmuştur.

1 mm talaş derinliği durumunda dört farklı kesme hızında (150,180,210 ve 240 m/dak) ilerleme miktarının kesme kuvvetine göre etkisi Şekil 7.4'te verilmiştir.



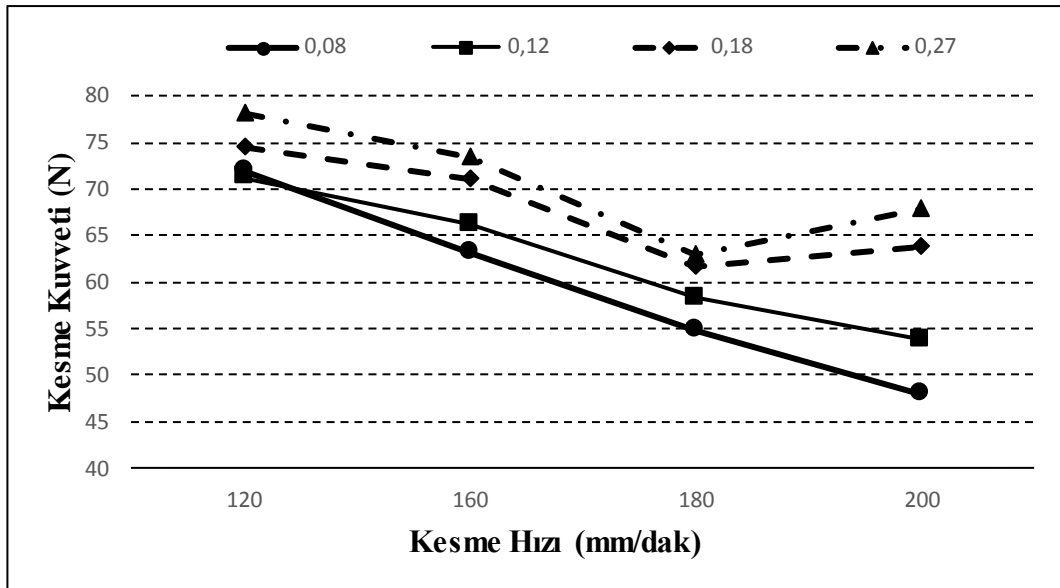
Şekil 7.4. 1 mm talaş derinliğinde ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fy bileşenine etkisi.

Şekil 7.4'teki grafiğin incelenmesi ile ilerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 7.3'teki grafiğe göre kıyaslandığı zaman talaş derinliğinin artmasıyla da kesme kuvvetlerinde de artış olduğu gözlenmiştir. Talaş derinliğinin artmasının kesme kuvvetlerine etkisi ilerleme miktarında olduğu gibi talaş kesitinden kaynakladığını söyleyebiliriz. Yapılan

çalışmalar sonucunda yalnızca 200 m/dak kesme hızı 0,12 mm/diş ilerleme miktarında bir önceki ilerleme miktarına (0,08 mm/diş) göre kesme kuvvetinde düşüş meydana gelmiştir. Bunun nedeni düşük sertliğe sahip çeliklerde düşük ilerleme miktarları ile yapılan işlemlerde kesme kuvvetlerinde düşüş oluşabilir diye açıklanabilir. Meydana gelen en düşük kesme kuvveti değeri (70,25 N) 0,12 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında oluşurken en yüksek kesme kuvveti değeri (146,1 N) 0,27 mm/diş ilerleme miktarında 120 m/dak kesme hızında oluşmuştur. Her bir işleme parametresine göre kesme kuvveti değerlendirildiğinde en yüksek kesme kuvveti değişimi kesme hızının 200 m/dak ilerleme miktarının 0,12 mm/diş'ten 0,18 mm/diş'e artışında oluşmuştur. En düşük kesme kuvveti değişimi ise %1,9 olarak kesme hızının 120 m/dak olduğu ilerleme miktarının 0,12 mm/diş'ten 0,18 mm/diş'e değişiminde meydana gelmiştir.

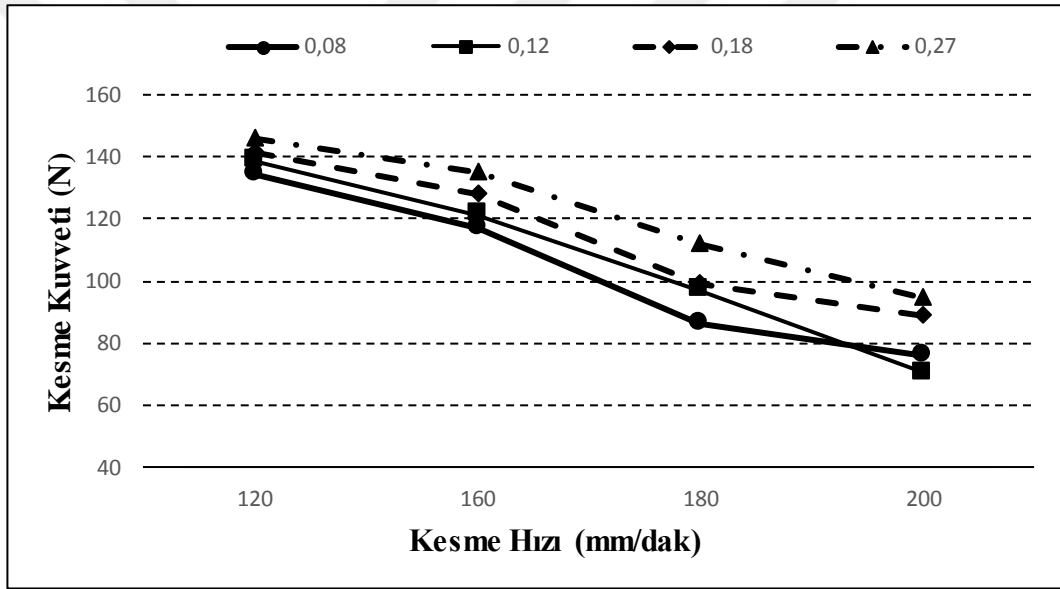
### 7.2.2. Kesme Hızına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Kesme kuvvetinin ikinci değerlendirilmesi kesme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu kesme hızlarına ve iki farklı talaş derinliğine göre kesme kuvvetlerinin değişim grafikleri Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.5. 0.5 mm talaş derinliğinde ve farklı ilerleme miktarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi.

Şekil 7.5'teki kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı olarak grafiğinin incelenmesinde kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. Kesme kuvvetlerindeki bu düşüş, kesici takımın talaş yüzeyinde kesici takım-talaş temasının uzunluğunun azalması ve kısmen de kesme hızının artması sonucunda kesme bölgesinde sıcaklığın artması ile kesici takım-talaş yüzeyindeki akma bölgesinde yapışan iş parçası malzemesinin kayma dayanımının azalması ile açıklanabilir [54]. Grafiğe göre 0,18 mm/diş ve 0,27 mm/diş ilerleme miktarlarında kesme hızının 180 m/dak'dan 200 m/dak'ya artışında kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artış sıcaklık artışından dolayı BUE oluşumuna sebep olmuştur denilebilir.



Şekil 7.6. 1 mm talaş derinliğinde ve farklı ilerleme miktarlarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi.

Şekil 7.6'da verilen kesme kuvveti grafiği incelenmesinde kesme hızlarının artması ile kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerleme miktarlarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca artan talaş derinliğinin kesme kuvvetlerinin daha yüksek değerlerde oluşmasına sebep olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda meydana gelen en düşük kesme kuvveti değerleri 200 m/dak kesme hızında gerçekleşmiş olup en yüksek kesme kuvveti değerleri 120 m/dak kesme hızında oluşmuştur.

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'daki grafikler talaş derinliklerine göre kıyaslandığında ise talaş miktarlarının artması sonucunda kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun nedeni kalrılan talaş miktarındaki artışla beraber talaş kesitinde artmasıdır.



## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI P20Ni plastik kalıp çeliğinin frezeleme yöntemi ile sementit karbür kesici takımlar kullanılması ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ve işleme sırasında meydana gelen kesme kuvveti değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Kesme kuvvetlerinde meydana gelen en düşük değer (47,85 N) 200 m/dak kesme hızında, 0,5 mm talaş derinliğinde ve 0,08 mm/diş ilerleme miktarında oluşmuştur. En yüksek kesme kuvveti değeri (146,1 N) ise 1 mm talaş derinliğinde 120 m/dak kesme hızında ve 0,27 mm/diş ilerleme miktarında meydana gelmiştir.
- Her talaş derinliğinde yapılan deneyler kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde düşüş meydana gelmiştir. İlerleme miktarlarına göre değerlendirildiğinde de kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiği görülmüştür.
- Kesme kuvvetlerine göre işlenebilirlik deneylerinde optimum kesme hızı değerinin 200 m/dak olduğu belirlenmiştir.
- Deneysel çalışmalarda meydana gelen en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri (2,269  $\mu\text{m}$ ) 1 mm talaş derinliğinde, 0,27 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri (0,448  $\mu\text{m}$ ) ise 200 m/dak kesme hızı 0,5 mm talaş derinliği ve 0,08 mm/diş ilerleme miktarında meydana gelmiştir.

- Talaş derinliğinin ve ilerleme miktarının düşük olması meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün daha iyi oluşmasını sağlamıştır.

## 8.2. ÖNERİLER

- Kullanılan kesici takımların dışında farklı kesici takımlar kullanılarak bu malzeme için daha iyi parametreler elde edilebilir.
- Elde edilen kesme kuvveti değerleri işleme parametrelerine göre literatüre uygun olmuştur. Kesme kuvvetlerinin daha da düşürülmesini sağlamak için kesici takım geometrisi değiştirilebilir.
- Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesi, kesici takım aşınması ve kesici takım ömrüne göre değerlendirilebilir.
- Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri araştırılmıştır. Fakat sıcaklık ve titreşim ölçümleri yapılarak daha ayrıntılı sonuçlara varılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2000).
2. Tosun, E., “Fezeleme işlemlerinde genetik algoritma yaklaşımı ile kesme koşullarının optimizasyonu”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
3. Gökkaya, H., Nalbant, M. ve Özçatalbaş, Y. “Takım-talaş arayüzey sıcaklığının takım-iş parçası ısıl çift yöntemiyle ölçümü için geliştirilen sistemin uygulanabilirliği”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 3, 409-413 (2006).
4. Farhat, Z., N., “Microstructural characterization of WC-TiC-Co cutting tools during high-speed machining of P20 mold steel”, *Materials Characterization*, 51, 117-130 (2003).
5. Yaşar, N., “Plastik kalıp çeliklerinin özgül kesme direncinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).
6. Akben, U. ve Erten, M., “Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, *I. Uluslararası İmalat Sempozyumu*, İstanbul (2009).
7. Işık, Y., “Investigating the machinability of tool steels in turning operations”, *Materials and Design*, 28, 1417-1424 (2007).
8. Aggarwala, A., Singhb, H., Kumarc, P. ve Singhd, M., “Optimization of multiple quality characteristics for CNC turning under cryogenic cutting environment using desirability function”, *Journal of Materials Processing Technology*, 205, 42-50 (2008).
9. Altınkaya, E., “AISI 316 östenitik çeliğin işlenmesinde kesme değerlerinin ve takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
10. Domaç, H., “Frezeleme işleminde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).
11. Seymen, Y., “Alüminyumun (Al7075) elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış parmak freze ile işlenmesinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2009).

12. Şirin, E., Turgut, Y. ve Korkut, İ., “Farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 1, 15, 9-14 (2012).
13. Baran, A., “Sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin yüksek hızda işlenmesinde uygun kesme parametrelerinin seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
14. Demir, H., Ulaş, H., B. ve Zeyveli, M., “Stavax ESR çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi”, *V. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük (2009).
15. Özel, T., Hsu, T., K. ve Zeren, E., “Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 262-269, (2005).
16. Boy, M., Demir, H. ve Korkut, İ., “Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *V. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük (2009).
17. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri I”, *Gazi Kitabevi*, Ankara (2003).
18. Shaw, M., C., “Metal cutting principles, *Oxford University Press*, Oxford (1989).
19. Koçak, H., “GGG 90 küresel grafitli dökme demirin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2011).
20. Sur, G., “Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2002).
21. Lee, T., H., “An experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels”, PhD. Thesis., *The University of New South Wales* (2007).
22. Doğan, M., A., “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 6061 alüminyum metal matriksli kompozitlerin işlenebilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2012).
23. Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2003).
24. Bahçeci, E., “Al matrisli  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).

25. Özyurt, V., “AlMg<sub>3</sub>/SiCp kompozitlerin işlenebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
26. Pul, M., “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
27. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri Ders Notları”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara (1999).
28. Yu, X., X. ve Lee, W., B., “The design and fabrication of an alumina reinforced aluminum composite material”, *Composites: Part A*, 31: 245-258 (2000).
29. Mendi, F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları”, *TDFD Ltd. Şti.*, Ankara (1996).
30. Çakır, M., C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını*, Bursa (1999).
31. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2000).
32. Mendi, F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları”, *Gazi Kitabevi*, Ankara (1996).
33. Yeyen, H., E., “AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
34. Çakır, M., C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, *Dora Yayıncılık*, Bursa (2000).
35. Yontar, A., A., “AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006).
36. Sürücü, S., “Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirme”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
37. Sert, H., Karataş, Ç., Özdemir, A., Kılınç, Y., Dağ, M. ve Samtaş, G., “Thin and thick hard coatings of metals, their environments and performance comparisons”, *Proceeding 2nd International Conference on Tribology*, 48-58 (2002).
38. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin ısı ile işleme değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlik”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü* (1996).
39. Elieyioğlu, S., “Çeliklerin ısı ile işlem altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskobu (sem) ve mössbauer spektroskopisi ile

- incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 18-20 (2005).
40. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2002).
  41. Gadelmavla, E., S. ve Koura, M., M., “Roughness parameter”, *Journal of Material Processing Technology*, 123, 133-145 (2002).
  42. Özses, B. “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2002).
  43. Akay, A., “AISI 1040 çeliğinin frezelenmesinde yüzey kalitesinin kesici takım gürlütüsünün analizi ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2009).
  44. Çiftçi, İ., “Talaşlı imalat ders notları”, *Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği* (2013).
  45. Işık, Y. ve Çakır, M., C., “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, 1-2: 111-118 (2001).
  46. Alp, S., “Kalıpcılık sektör araştırması”, *İstanbul Ticaret Odası*, İstanbul (2005).
  47. Atahan, H., F., “Türkiye’de kalıpcılık eğitimi sorunlarının çözümü için eğitim programı önerisi”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2009).
  48. Çetinarslan, C., S., “Sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliklerinin yorulma dayanımlarının deneysel olarak araştırılması”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (1997).
  49. Süzğünyol, M. ve Kayır, Y., “DIN 1.2311 ve 1.2738 kalıp çeliklerinin işlenebilirliği”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 132-142 (2012)
  50. İnternet: Korkmaz Çelik, “Plastik Kalıp Çelikleri”, <http://www.korkmazcelik.com/urunler/plastik-kalip-celikleri.html> (2017).
  51. İnternet: Birleşik Metal, “Birleşik Metal”, <http://www.birlesikmetal.com.tr/Urunler-ve-Hizmetler/Malzemeler/12738> (2017).
  52. İnternet: Kyocera, “Kyocera”, [http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Small\\_Tools\\_Catalog\\_Section\\_M\\_Milling.pdf](http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Small_Tools_Catalog_Section_M_Milling.pdf) (2017).
  53. Korkut, İ. ve Dönertaş, M., A., “Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 6, 1, 385-389 (2003).

54. Trent, E., M., "Metal Cutting", *Butterworths Press*, London (1989).



## ÖZGEÇMİŞ

Çağatay TOPÇU 1992 yılında BAKIRKÖY/İSTANBUL 'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Liseyi Eşref Bitlis Lisesinde Fen Bilimleri Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında KARABÜK Üniversitesi TEKNOLOJİ Fakültesi imalat mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2014 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2015 yılında İstanbul'da Güven teknik makina ve kalıp adlı firmada üretim planlama ve satın alma sorumlusu olarak işe başladı. Günümüzde aynı firmada işe devam edip yüksek lisans öğrencisi olarak eğitimini sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Balıklar Kayası Mevkii / KARABÜK  
Tel : (538) 327 9696  
E-posta : cgtytpc@gmail.com