

**SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN (TOOLOX 44)
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

RÜSTEM BİNALİ

**SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN (TOOLOX 44) İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Rüstem BİNALİ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2017**

Rüstem BİNALİ tarafından hazırlanan "SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN (TOOLOX 44) İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/06/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

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



Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY (KBÜ)



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

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





“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.”

Rüstem BİNALİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN (TOOLOX 44) İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Rüstem BİNALİ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Haziran 2017, 57 sayfa

Talaşlı üretim, imalat sektöründe üretimin ana unsurunu oluşturmaktadır ve işlenebilirlik deneyleri her daim ana araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada, gelişen endüstride önemli bir yeri olan Toolox 44 sıcak iş takım çeliği (44 HRC) kullanılarak işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik kriterleri olarak, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve takım aşınması incelenmiştir. Yapılan deneyler frezeleme yöntemiyle dört farklı kesme hızında (150, 180, 210 ve 240 m/dak), dört farklı ilerleme miktarında (0,4, 0,8, 1,2 ve 1,6 mm/diş) ve iki farklı talaş derinliğinde (0,2 ve 0,4 mm) soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Sonuçlar neticesinde ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 180 m/dak kesme hızı, 0,4 mm/dev ilerleme miktarı, 0,2 mm talaş derinliğinde meydana gelirken (0,533 µm) en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 180

m/dak kesme hızı, 1,2 mm ilerleme miktarı ve 0,2 mm talaş derinliğinde (3,126 μm) oluşmuştur. En düşük kesme kuvvetleri ise 0,4 mm talaş derinliğinde 0,4 ve 0,8 mm/diş ilerleme miktarında ve 180 m/dak kesme hızında ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : İşlenebilirlik, takım çeliği, Toolox 44, frezeleme, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü.

Bilim Kodu : 916.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE MACHINABILITY OF HOT WORK TOOL STEEL (TOOLOX 44)

Rüstem BİNALI

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

June 2017, 57 pages

Machining production constitutes the main component of production in the manufacturing sector, and machinability experiments have been the main research topic at all times. In this study, machinability tests were carried out on Toolox 44 hot work tool steel (44 HRC) an important material in developing industry. As the machinability criteria, surface roughness, shear force and tool wear were investigated. The tests were carried out dry through milling method at four different cutting speeds (150, 180, 210 and 240 m/min), four different feed rates (0,4, 0,8, 1,2 and 1,6 mm/tooth) and at two different depth of cut (0,2 and 0,4 mm). Cutting forces developed during milling and surface roughness of the machined surfaces were measured. The results showed that increasing feed rate increased the surface roughness while increasing cutting speed decreased the cutting forces. The lowest surface roughness value (0,533 μm) was obtained at 180 m/min cutting speed, 0,4 mm/tooth feed rate and 0,2 mm depth of cut while the highest one (3,126 μm) was

obtained at 180 m/min cutting speed, 1,2 mm/tooth feed rate and 0,2 mm depth of cut. The lowest cutting force was obtained at 0,4 mm depth of cut, 0,4 mm/tooth feed rate and 180 m/min cutting speed.

Key Word : Machinability, tool steel, Toolox 44, 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 Őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

İŞlenebilirlik deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakóltesi İmalat Mühendisliği ArŐ. Gör. Dr. Gültekin UZUN'a teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY ve Öğr. Gör. Nafiz YAŞAR'a ve yüksek lisans öğrencileri Mücahit COŐKUN ve Haktan SIRALI'ya teŐekkürlerimi sunarım.

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

Ayrıca KBÜ-BAP-15/2-YL-043 no'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xv |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 3 |
| 2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ | 7 |
| | |
| BÖLÜM 3 | 8 |
| TALAŞLI ÜRETİM..... | 8 |
| 3.1. İŞLEME ESNASINDA TALAŞ KALDIRMA VE TALAŞIN OLUŞUMU .. | 8 |
| 3.1.1. Talaş Kaldırma..... | 8 |
| 3.1.1.1. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler..... | 8 |
| | |
| BÖLÜM 4 | 15 |
| İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ | 15 |
| 4.1. İŞLENEBİLİRLİK | 15 |
| 4.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler..... | 16 |
| 4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ | 17 |
| 4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu..... | 19 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 4.2.1.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü..... | 19 |
| 4.2.1.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü | 19 |
| 4.2.2. Yüzey Pürüzlülük Değerini Ölçme Teknikleri | 21 |
| 4.2.3. Pürüzlülük Parametreleri | 22 |
| 4.2.3.1. Örnekleme Uzunluğu Ve Örnekleme Sayısı..... | 22 |
| 4.2.3.2. Ortalama Çizgisi | 23 |
| 4.2.3.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)..... | 23 |
| 4.2.4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler | 25 |
| 4.2.4.1. Kesme Parametrelerinin Etkileri..... | 25 |
| 4.2.4.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi | 25 |
| 4.2.4.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi | 26 |
| 4.2.4.4. İlerleme Ve Köşe Radyüsünün Etkisi | 26 |
| BÖLÜM 5 | 28 |
| MATERYAL METOD | 28 |
| 5.1. DENEY NUMUNELERİ..... | 28 |
| 5.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU | 29 |
| 5.3. TAKIM TEZGAHI VE DENEY DÜZENİĞİ | 30 |
| 5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ..... | 32 |
| 5.5. DENEY PARAMETRELERİ | 33 |
| BÖLÜM 6 | 34 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 34 |
| 6.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNE ETKİSİ | 35 |
| 6.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESME KUVVETİNE ETKİSİ | 38 |
| 6.2.1. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi | 39 |
| 6.2.2. Kesme Hızına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi | 41 |
| 6.3. KESİCİ TAKIM AŞINMALARI | 43 |
| BÖLÜM 7 | 51 |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 51 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---------------------|---------------------|
| 7.1. SONUÇLAR | 51 |
| 7.2. ÖNERİLER | 52 |
| KAYNAKLAR | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ | 57 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Şekil 3.1. Takım açılarının etkisi..... | 9 |
| Şekil 3.2. İşleme esnasında ısının oluşumu | 10 |
| Şekil 3.3. Talaş kaldırma kuvvetleri..... | 13 |
| Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi | 20 |
| Şekil 4.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu | 23 |
| Şekil 4.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi | 23 |
| Şekil 4.4. Profil ve genlik dağılım eğrisi | 24 |
| Şekil 4.5. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri | 27 |
| Şekil 5.1. İş parçası malzemesi boyutları | 28 |
| Şekil 5.2. Kesici takım tutucu..... | 29 |
| Şekil 5.3. CNC freze tezgahında kullanılan deney düzeneği | 31 |
| Şekil 5.4. Kistler 9257B dinamometresinin elemanları..... | 32 |
| Şekil 6.1. 0.4 mm kesme derinliği için ortalama yüzey pürüzlülüğü | 36 |
| Şekil 6.2. 0.2 mm kesme derinliği için ortalama yüzey pürüzlülüğü | 37 |
| Şekil 6.3. 0.2 mm kesme derinliğinde ve sabit kesme hızında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi | 39 |
| Şekil 6.4. 0.4 mm kesme derinliğinde ve sabit kesme hızında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi | 40 |
| Şekil 6.5. 0.2 mm kesme derinliğinde ve sabit ilerleme miktarında; kesme hızının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi..... | 41 |
| Şekil 6.6. 0.4 mm kesme derinliğinde ve sabit ilerleme miktarında; kesme hızının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi..... | 43 |
| Şekil 6.7. Farklı kesme hızlarında sabit ilerleme miktarında ve farklı talaş hacimlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri | 44 |
| Şekil 6.8. Kesici takımda meydana gelen yüzey aşınmasının tayini | 45 |
| Şekil 6.9. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 320 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımda meydana gelen aşınma görüntüsü..... | 46 |
| Şekil 6.10. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 1600 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımda meydana gelen aşınma görüntüsü | 46 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.11. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 3200 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü | 47 |
| Şekil 6.12. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 6400 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü. | 47 |
| Şekil 6.13. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 320 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü..... | 48 |
| Şekil 6.14. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 1600 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü | 48 |
| Şekil 6.15. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 3200 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü | 49 |
| Şekil 6.16. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 6400 mm ³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü | 49 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Çizelge 5.1. Toolox 44 çeliğinin kimyasal içeriği | 28 |
| Çizelge 5.2. Kullanılan kesici takım ve özellikleri | 29 |
| Çizelge 5.3. Kesici takım tutucunun özellikleri..... | 30 |
| Çizelge 5.4. Deneylerin yapıldığı tezgâhın özellikleri..... | 31 |
| Çizelge 5.5. Kullanılan dinamometrenin özellikleri | 32 |
| Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri..... | 33 |
| Çizelge 5.7. Deney değişkenleri | 33 |
| Çizelge 6.1. Deney verileri | 34 |
| Çizelge 6.2. Deney verileri | 35 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- α : boşluk açısı
 γ : talaş açısı
 β : kama açısı
 r : takım ucu yarıçapı
 T : takım ömrü
 v : kesme hızı
 C_t : taylor sabiti
 a : talaş derinliği
 f : ilerleme miktarı
 F_z : talaş kaldırma kuvveti
 F_s : kesme yönünde kesme kuvveti
 F_t : radyal kuvvet
 F_k : kesme yönünde makaslama kuvveti
 F_b : dik yönde basma kuvveti
 F_f : sürtünme kuvveti
 F_n : normal kuvvet
 ρ : sürtünme açısı
 μ : sürtünme katsayısı
 ϕ : kesme açısı
 τ_k : kopma mukavemeti
 R_a : ortalama yüzey pürüzlülüğü
 R_t : yüzey pürüzlülüğünün derinliği
 R_p : yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği
 L_n : örneklem uzunluğu
 R_{sk} : genlik dağılım eğrisi
 R_q : en derin pürüzlülük değeri

r_e : köşe radyüsü
C : karbon
Si : silisyum
Mn : mangan
P : fosfor
S : kükürt
Cr : krom
Ni : nikel
Mo : molibden
V : vanadyum

KISALTMALAR

TiN : Titanyum Nitrür
TiCN : Titanyum Karbon Nitrür
Al₂O₃ : Alüminyum Oksit
TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür
Fe₃C : Sementit
HRC : Rockwell-C Sertlik Birimi
CBN : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
PCBN : Polycrystalline Cubic Boron Nitride (Polikristalin Kübik Bor Nitrür)
HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
AISI : Amirac Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
PVD : Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
DIN : German Institute Standardization (Alman Enstitü Standartı)
ISO : International Standart Organization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
YSA : Yapay Sinir Ağ
CNC : Computer Numeric Control (Bilgisayar Nümerik Kontrol)
BUE : Built Up Edge (Yığıntı Talaş Oluşumu)
SEM : Scanning Electron Microscobe (Taramalı Elektron Mikroskobu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ham maddenin bitmiş ürüne getirilmesi insanlık tarihinde en eski yöntemlerden birisidir. Bu işlemler her çağda insanlar tarafından farklı şekillerde gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin gelişimiyle beraber ham maddenin bitmiş ürün haline gelmesi ve ürünlerin şekillendirilmesi daha kolay ve daha düzgün bir şekilde gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Sanayi devriminin de üretim süreçlerine katkısı bulunmaktadır. Çeşitli üretim süreçleri yapılan işlemlere göre sıralanabilir. Bunlar, döküm, dövme, şekil verme, kaynak ve talaşlı imalat gibi yöntemlerdir [1].

Talaşlı üretim, ürün işlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Ham malzemedan nihai ürüne ulaşabilmek ve son şeklini verebilmek, ayrıca istenmeyen kısımların çıkarılabilmesi için kullanılan bir yöntemdir. İstenilen nihai ürüne ulaşabilmek için kesici takımların iş parçasından daha sert olması gereklidir. Talaşlı üretim yöntemleri, frezeleme, tornalama, delme, diş açma gibi işlemlerdir.

Frezeleme, talaşlı üretimde en yaygın kullanılan işlemlerden birisidir. Frezeleme, kesici takımın kendi ekseninde dönmesiyle ve iş parçası malzemesinin ilerleme hareketi ile oluşan bir işlemdir. Bu işlemden kesici takımda birçok kesici ağız bulunmaktadır ve bu kesici kenarın her biri iş parçasından bir miktar talaş kaldırabilme kapasitesi vardır. Frezeleme ile işleme verimlilik daha iyi, yüzey pürüzlülüğü, hassasiyet ve düzgün toleranslar dahilinde ürün üretmek daha avantajlıdır [2].

Talaşlı üretimde en önemli unsurlar işleme parametreleridir. Bunlar, kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğidir. Bu parametrelerde değişimler göstererek kesme kuvvetinde değişikliklere neden olmaktadır. İlerleme ve talaş derinliği arttıkça kesme

kesme kuvveti artmaktadır. Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti azalmaktadır. Bu nedenle frezeleme işleminde bu parametreler işlem esnasında iyi seçilmelidir [3].

Kesme kuvvetinin yanı sıra işlem sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü de dikkate alınması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğünü; iş parçasının sünekliliği (parça sünek ise daha pürüzlü bir yüzey oluşur, iş parçasının sertliği arttıkça yüzey pürüzsüz oluşur), kesici takım uç yarıçapı (uç yarıçapı arttıkça yüzey daha pürüzsüz olarak ortaya çıkar), ilerleme hızı (ilerleme hızının artması pürüzlülük değerinin artmasına neden olur), kesme hızı (kesme hızının azalması pürüzlülük değerinin artmasına neden olur) ve tezgahın rijitliliği (tezgah rijit değilse pürüzlülük artmaktadır) gibi faktörler yüzey pürüzlülük değerini etkilemektedir [4].

Kalıpcılık sektöründe kullanılan çelikler genellikle işleme sonrasında ısıl işleme gönderilerek sertleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde yüksek sıcaklıklara ve yüksek mukavemete dayanım özelliği artırılarak kalıbın daha uzun ömürlü olması amaçlanmaktadır. Fakat Toolox 44 çeliği ön sertleştirilmiş olarak üretildiğinden ikinci bir ısıl işlem gerektirmemektedir.

Sertleştirilmiş ve temperlenmiş olarak üretilen Toolox 44 işleme esnasında yüksek ölçü kararlılığına sahiptir. 40-45 HRC'lik sertliğe sahip olmasına rağmen kolay işlenebilmesi oluşan yüzey kalitesinin iyi olması geniş bir kullanım alanı oluşturmaktadır [5].

Yapılan araştırmalar sonucunda, Toolox 44 kalıp çeliği ile ilgili çalışmaların yeni olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, frezeleme yöntemi ve işleme parametresi olarak dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı ve iki farklı talaş derinliği kullanılarak Toolox 44'ün işlenmesi sırasında, farklı işleme parametrelerin iş parçası malzemesinin yüzey kalitesi ve işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri incelenmiş amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Süzgünol ve Kayır, DIN 1.2311 ve 1.2738 kalıp çeliklerinin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Bu işlenebilirlik deneylerini beş farklı kesici takım (HSS, Karbür, Sermet, CBN, PCBN) ile yapmışlardır. Deneylerde kullandıkları parametreler ise kesme hızı için 130-500 m/dak, ilerleme hızı için 0,1-0,6 mm/dev ve kesme derinliği için 0,1-2 m arasını seçmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda diğer kalıp çeliklerine göre daha iyi işlenebilirliklerinin olduğu görülmüş ve yüzey pürüzlülüğü ile yüzey parlatalabilirliğini sağladıkları görülmüştür [6].

Motorcu ve Şahin, AISI 1040 çeliğini iki çeşit kaplamalı sementit karbürle ve sermet kesici takımıyla tornalama da işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde, ilerleme hızı ile talaş derinlikleri sabit farklı kesme hızlarını kuru ortamda gerçekleştirmişlerdir. Her takımında kesme hızının düşmesi takım ömründe artış göstermiş ve sermetlerin kullandıkları diğer takımlara göre takım ömrü açısından daha iyi olduğunu göstermişlerdir [7].

Şirin, çalışmasında farklı sertliklere sahip AISI D2 soğuk iş çeliğini PVD yöntemi ile $TiAl+Al_2O_3+ZrN$ kaplanmış karbür takımlarla frezeleme de işlemiştir. İşleme parametreleri olarak talaş derinliği sabit, ilerleme hızı ve kesme hızlarını değişken olarak gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğüne takımın geometrisi, ilerleme hızı ve kesme hızının etkili olduğunu belirlemiştir. Takım aşınmasında ise kayda değer bir sonuç elde edememiştir [8].

Gökkaya vd, yaptıkları çalışmalarında üç katlı TiN kaplanmış kesici takımlarında sıcaklığın büyük ölçüde düştüğünü ve genel olarak kesici takımında oluşan aşınmanın ana sebebi olan sıcaklığın kontrol altına alınmasıyla kesme kuvvetlerindeki azalmada önemli unsur olduğunu gözlemlemişlerdir [9].

Korkut ve Dönertaş, çalışmalarında yüzey frezeleme yöntemi kullanarak ilerleme hızıyla kesme hızının, yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında AISI 1020 ve AISI 1040 çeliklerini kullanmışlardır. Talaş derinliği sabit kalarak kesme hızı ve ilerleme hızı değişken olmuştur ve yüzey pürüzlülük değerlerini incelemişlerdir [10].

Özkul, Soğuk iş takım çeliği Sleipner ile sıcak iş takım çeliği Dievar üzerinde geleneksel ve modern yöntemlerle işlenebilirlik özelliklerini çalışmıştır. Geleneksel yöntemlerde kesme kuvvetini Kistler 9257 B model dinamometre yardımı ile ölçmüştür. Bu çalışmasında geleneksel ve modern yöntemlerle işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüklerini, maliyetlerini ve performanslarını değerlendirmiştir [11].

Özçatalbaş, çalışmasında hadde işlemi görmüş AISI 4140, 1050 ve 8620 çeliklerinin tam tavlama ve normalleştirme ısıl işlemleriyle özellikleri değiştirilmiş malzemelerin işlenebilirliklerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarda kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu araştırılmıştır. Her malzemesinde en iyi takım ömrünün haddelenmiş olarak incelenenlerin olduğunu gözlemlemiştir [12].

Paul ve Dhar, yaptıkları çalışmalarında AISI 1060 ve 4160 çeliklerini kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarda, soğutma faktörünün yüzey pürüzlülüğüne, takımın aşınmasına ve ölçü de sapma etkilerinin üzerine veriler elde etmişlerdir. Çalışmaları için özel soğutma yöntemi geliştirerek kesme sırasında oluşan kesici takım ısınmasını azaltmışlardır. Kesici takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve ölçülen değerlerini soğutmasız ortamda yaptıkları deneylerle karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmalarda, iki tip kesici takım (talaş kırıcılı ve talaş kırıcısız) kullanarak -196°C sıcaklıkta bulunan sıvı azotu kesici takım yüzeyine püskürterek sonuçlar elde etmişlerdir. Elde edilen verilere ışığında kesici takımın ön ve yan yüzeylerinde aşınma ile ölçü sapmasının azaldığını ve yüzeyin daha pürüzsüz olduğunu gözlemlemiştir [13].

Ulusoy, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan orta karbonlu ve otomat çeliklerindeki bağlantı rekorlarının üretiminin daha kısa sürede kaliteli ve daha fazla ürünün elde edilmesinin maliyetinin düşürülmesi için çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Yapılan çalışmada, farklı kesme hızları ve farklı ilerleme hızları parametre olarak kullanılmıştır. Elde ettiği sonuçlar ise, ilerleme hızını yükseltmekle üretim süresinin azalacağını fakat yüzey pürüzlülüğünün artacağını gözlemlemiştir. Ç1040 çeliğinin kullanımında takım ömrünün azalmasıyla yüzeyin daha kaliteli oluştuğunu gözlemlemiştir. Üretim miktarlarına göre Ç1040 çeliğinin kullanılmasının avantajlı bir işlem olacağını tespit etmiştir [14].

Yeyen, çalışmasında AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerini kullanmıştır. Deneylerinde 120-150-180-210 m/dak kesme hızlarını, 0,2-0,24-0,30 mm/dev ilerleme hızlarını ve 2,5 mm talaş derinliğini kullanmıştır. Kesme kuvvetini değerini tezgâhın harcadığı güç olarak elde etmiştir.

$$P=F.V/60 \quad (2.1)$$

İş parçaların işlenmesi için Stellram firmasının P10 CNMG NL25 tipli talaş kırıcıli semetit karbür kesici takım kullanmıştır. Çalışması sonrasında, kesme hızının artmasıyla oluşan talaşın kıvrılma çapının düşmesine ve talaş kalınlığının artmasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca oluşan talaşın kalınlığının artmasıyla kesme düzlemi açısının da küçülmesine ve iş parçası malzemesinin deforme olmasının zorlaşmasıyla kesme bölgesindeki basıncın artmasına, bu sebeple oluşan titreşimin ve oluşan ısının artmasına sebebiyet verdiğini belirtmiştir [15].

Fu vd., çalışmalarında yüzey frezeleme işlemini kullanarak oluşan kesme kuvvetlerinin hesaplanması için olanak veren matematiksel bir modelleme geliştirmişlerdir. Bu modelleme ile kesme kuvvetlerini hesaplarken, takım geometrisi, talaş kesit alanı ve takım iş mili eğikliğini ele almışlardır. Yaptıkları bu deneysel çalışmada kesici takımların farklı kesme hızları ve ilerleme hızları için özgül kesme direnci katsayısını ve teğetsel etkileyen kuvvetin, radyal bir kuvvete dönüşmelerini bulmuşlardır. Elde ettikleri bulguların teorik olarak ta hesapladıkları kesme kuvvetleriyle eşleştiğini belirtmişlerdir [16].

Yaşar, plastik kalıp çeliklerin özgül kesme dirençlerini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmasında 4 farklı kalıp çeliği (DIN 1.2083, 1.2738, 1.2312 ve DIN 1.2316)

kullanmıştır. Deneylerini tornalama işlemiyle ISO 1832'ye göre 75° yanaşma açısıyla yapmıştır. Seçmiş olduğu kesici takımlar kaplamalı ve kaplamasız semetit karbür SNMG 120408-QM şeklindedir. Deneyler esnasında oluşan kesme kuvvetlerini Kistler 9257B tipli dinamometreye ölçmüştür. Özgül kesme direncini ise Kienzle formülü yardımıyla bulmuştur. Elde ettiği veriler sonucunda ise, ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca her iki kesici takımında da talaş derinliği ve ilerleme hızı arttıkça özgül kesme dirençlerinin düştüğünü belirlemiştir [17].

Koshy vd., deneysel çalışmalarında 58 Rockwell sertliğine sahip AISI D2 soğuk iş takım çeliğini TiCN ve Al₂O₃ kaplamalı küresel uçlu kesici takım ve PCBN kesici takımlarını kullanmışlardır. Her iki kesici takım için aynı kesme hızını ve talaş derinliği değerlerini uygulayarak, PCBN takımının oluşturduğu yüzey pürüzlülük değeri 0.1-0.2 µm, kaplamalı takım ile 1-6 µm arası değerler elde etmişlerdir. Sonuçlara göre PCBN kesici takım ile daha iyi yüzey kalitesinin oluştuğunu göstermişlerdir [18].

Neşeli vd., tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünde takım geometrisinin etkisini incelemişlerdir. Deneylerini kuru kesme şartlarında AISI 1040 çeliğini kullanarak 0,5 mm talaş derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. Pürüzlülük değerlerinin ölçüm işlemleri MAHR M1 Perthometer kullanarak gerçekleştirilmiştir. Elde ettikleri bulguları Yapay Sinir Ağ (YSA) eğitiminde kullanmışlardır. YSA için, uç radyüsü, yaklaşma açısı, talaş açısı ve çıkış parametresi olarak da ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri olarak belirlemişlerdir. YSA ile Ra değeri tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlarında elde ettikleri verilere göre YSA ile deneysel sonuçlardaki verilerin yakın olduğu görülmüştür [19].

Uzun, çalışmasında Ç5140 çeliğine 14 farklı ısıl işlem uygulayarak mikroyapı ve mekanik özelliklerini değiştirmiştir. Mikroyapı ve mekanik özellikleri değişen Ç5140 çeliğini tornalama ile işleyerek yüzey pürüzlülük değerlerini ve kesme kuvvetlerini incelemiştir. Deneylerini 90-110-120-150 m/dak kesme hızlarında 0,1 mm/dev ilerleme hızında ve 0,1 mm talaş derinliğinde Al₂O₃kaplı semetit karbür kesici takımlarla gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla kesme

kuvvetinde düşüş olduğunu belirlemiştir. Ayrıca en düşük pürüzlülük değerinin piyasada olduğu gibi temin edilen numunede ve ısıtma işlemine maruz kalan numunelerden havada ve yağda soğutulduktan sonra temperlenen numunelerde olduğunu göstermiştir [20].

2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar incelendiğinde, işleme parametrelerinin yüzey kalitesi ve kesme kuvveti değerlerini değiştirmektedir. Yani sabit kesme hızında ve talaş derinliğinde, ilerleme miktarı artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmiştir. Kesme hızının artması kesme kuvvetini azaltırken, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin artması kesme kuvvetini arttırmaktadır. Aynı zaman da işlemenin soğutma şartı sağlanarak yapılması veya kuru şartlarda yapılmasının takım ömrünün artması ve azalmasına neden olmaktadır.

İşlenebilirlik deneylerinin yaygın olarak tornalama ve frezeleme yöntemiyle yapıldığını görülmektedir. İncelenen deneylerin büyük bir kısmında kaplamalı kesici takımlar kullanılmıştır. Literatür incelemelerine bakıldığında işlenebilirlik deneyleriyle ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edildiği gözlenmiştir.

Bu çalışmam da literatürden farklı olarak özel üretim olan bir malzemenin işlenebilirlik deneylerini yaparak, işleme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerine etkisini incelemektir. Yapılan deneylerde dört farklı kesme hızı, iki farklı talaş derinliği ve dört farklı ilerleme hızı seçilerek kuru ortam şartlarında frezeleme deneyleri yapılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 3

TALAŞLI ÜRETİM

Bir malzemeye şekil vermek amacıyla malzeme üzerinden bir kesici takımla talaş (iş parçası üzerinden kaldırılan malzeme) kaldırma işlemine talaşlı üretim denir. Bu talaş kaldırma işlemi kesici takımın kesme hızı ve ilerleme hızı ile gerçekleştirilir. Kesme hızı temel talaş kaldırma işlemidir, ilerleme hızı iş parçası üzerinde iş parçasının uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir yerinin işlenebilmesini gerçekleştiren harekettir [21].

3.1. İŞLEME ESNASINDA TALAŞ KALDIRMA VE TALAŞIN OLUŞUMU

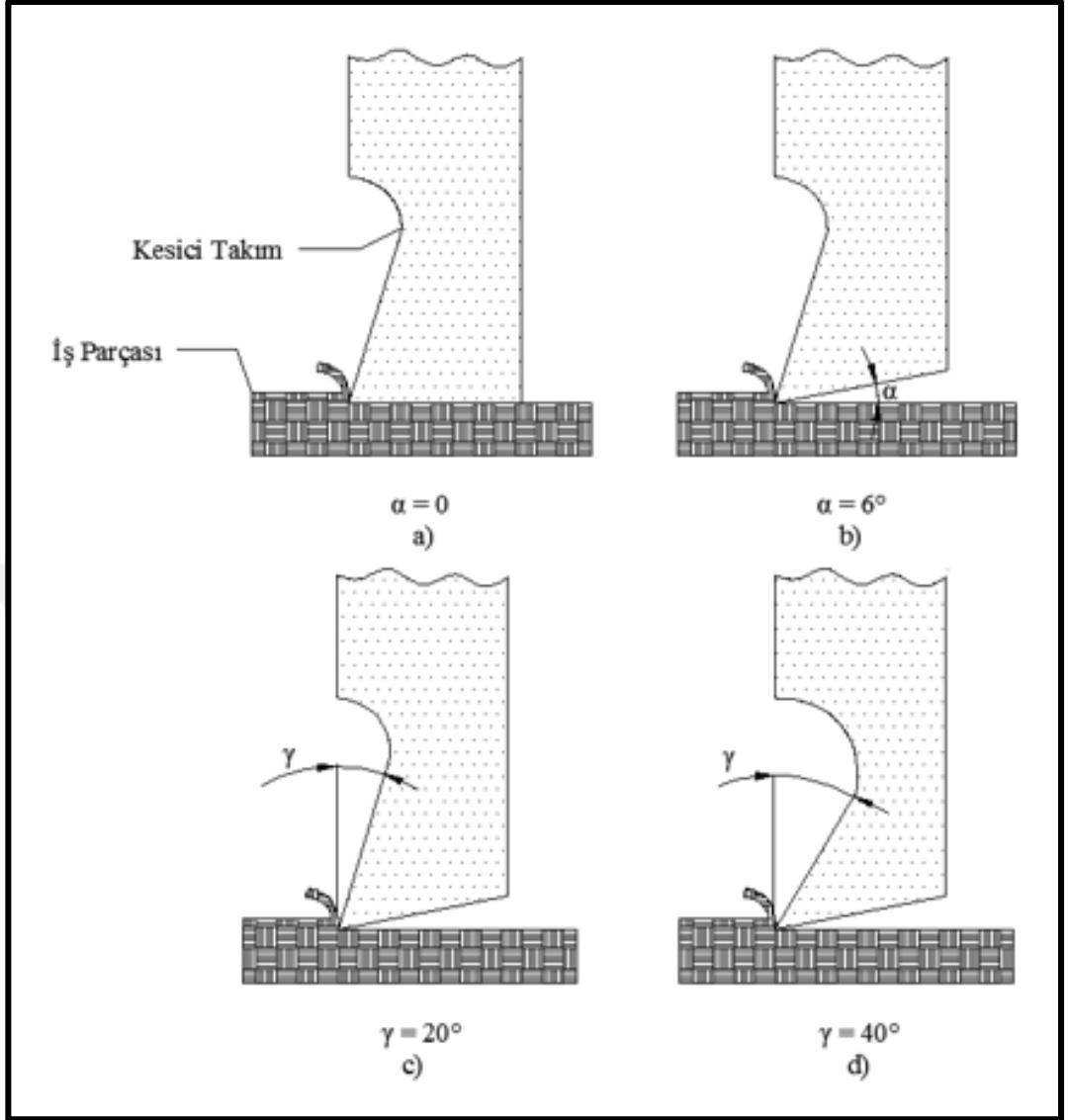
3.1.1. Talaş Kaldırma

Talaş kaldırma işlemi, iş parçasından belirli bir boyut, form ve yüzey kalitesine sahip ürün oluşturmak amacıyla kesici ucu keskin olan kesici takım ve güç uygulayarak, iş parçası malzemesi üzerinden katman şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Fiziki açıdan bu işlem, elastik şekil ve plastik şekil değişimine, sürtünmeden kaynaklanan ısının oluşmasına, talaşın kırılmasına ve büzülmesine, iş parçası yüzeyinde sertleşmenin oluşması, kesici takım ucunun aşınması gibi vakaların olduğu karmaşık bir olaydır [22].

3.1.1.1. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Kesici Takım Geometrisi

Kesici takım geometrisini boşluk açısı (α), talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve takım ucu yarıçapı (r) belirler. Şekil 3,1'de (α) değerlerine göre kesici takımın durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Takım açılarının etkisi [23].

Kesici takım ile iş parçasının yüzeyi arasında sürtünmeyi engelleyebilmek için α değerinin ortalama 6° olması gereklidir. Genel olarak α değeri kesici takım ve iş parçası malzemesine bağlı olarak 3° ve 7° arasında seçilmektedir [24].

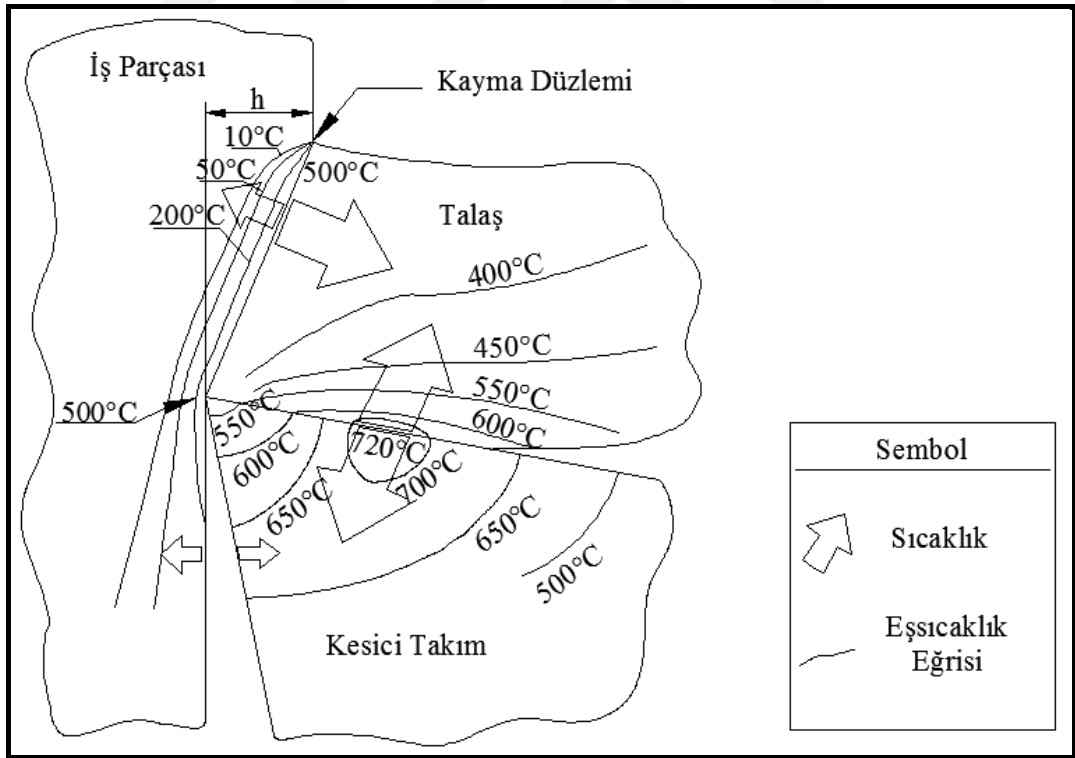
Şekil 3.1.c'deki gibi γ küçük ise iş parçasının işlenmesi zorlaşacağından, ısı oluşumu ve kesme kuvveti artar bunun yanı sıra kesici takımın aşınması daha çabuk gerçekleşir.

Şekil 3.1.d'deki gibi γ büyük ise kesici takımın ucu daha ince olacağından iş parçasının işlenmesi daha kolay olur. Takım ucunun ince olmasından daha düşük

kesme kuvveti yeterli olacaktır, talaş kolay atılır ve yüksek kesme hızlarında işleme gerçekleştirilebilir. Fakat kesici takım ucunun ince olması kuvvetlere karşı mukavemetinin azalacağından takımın kırılma ihtimali artar [25].

İşleme Esnasında Isının Oluşumu

İşleme esnasında iş parçasından kaldırılan talaştan kaynaklı oluşan ısı, malzemeden kaldırılması gereken talaş için gereken enerjiden, kesici takım ile kaldırılan talaş arasındaki sürtünmeden ve kesici takımla iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeden oluşmaktadır. Oluşan ısının bir kısmı, iş parçasından kaldırılan talaş ile dışarıya atılır, kalan ısı ise kesici takıma ve iş parçasına geçer. Kesici takım ve iş parçasına geçen ısı ile sıcaklık artışı meydana gelir ve kesici takımın aşınmasına neden olur. Bu da takım ömründe azalmaya sebep olur. Isı oluşumunun gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir [26].



Şekil 3.2. İşleme esnasında ısının oluşumu [26].

Takım Ömrü

Talaşlı üretimde önemli unsurlardan birisi de takım ömrüdür. Takım ömrü kesici takım ve iş parçası malzemesi, işleme parametreleri ve takım tezgahına bağlıdır. Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen sürtünmelerden ve sıcaklık artışından kesici takımda aşınma oluşur. Oluşan sürtünme kesici takımdaki aşınmanın en önemli nedenidir. Artan sıcaklık ise kesici takımın dayanımını azaltacağından aşınmanın oluşmasını hızlandıran bir etkidir [27].

Oluşan takım aşınması, kesici takım ve iş parçası malzemesi, kesici takım ve çıkan talaş geometrisi, kesme hızı ve ortam şartları (kuru veya kesme sıvısı kullanılması) gibi etkenlere bağlıdır. Takım ömrü de aşınmaya bağlı olduğundan aşınmayı etkileyen etkenler takım ömrü içinde geçerlidir. Takım ömrünü etkileyen faktörlerden en önemlisi kesme hızıdır. Taylor'ın yapmış olduğu çalışmalar sonucunda takım ömrü (T) ve kesme hızı (v) arasında bir ilişki bulunmaktadır ve buna bağlı olarak Taylor takım ömrü modeli olarak bilinen

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

eşitliği sağlanmıştır. Burada, kesme hızı (V) mm/dak, takım ömrü (T) dak, iş parçası ve kesici takım malzemesine göre sabit (n) ve C_t ise taylor sabitidir [28].

Kesme Hızı

Kesme hızı (V), talaş kaldırma esnasında kesme yönüne doğru bir hızla ilerlemesidir. Sıcaklığı etkileyen faktörlerin arasında olduğundan talaş kaldırma esnasında ideal kesme hızı takım ömrünün ve talaş kaldırma miktarının dengelenmesi için iyi seçilmelidir [29].

Talaş Derinliği Ve İlerleme Hızı

Talaş kaldırılmasında diğer faktörler talaş derinliği (a) ve ilerleme miktarı (f)'dir. Bu faktörlerden biri değiştiğinde kaldırılan talaş miktarı da değişmektedir. Ayrıca bu faktörlerdeki her değişiklik, takım ömründe de değişime yol açmaktadır [30].

Uygun bir işleme yapabilmek için alınabilecek maksimum talaş derinliği ve en düşük ilerleme hızı seçilmelidir. Bunun sebebi kesme hızına göre takım ömrünün değişiminde talaş derinliği en az etkiye sahip olmalarıdır. İdeal ilerleme hızı, kesici takımın ömrünü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir [31].

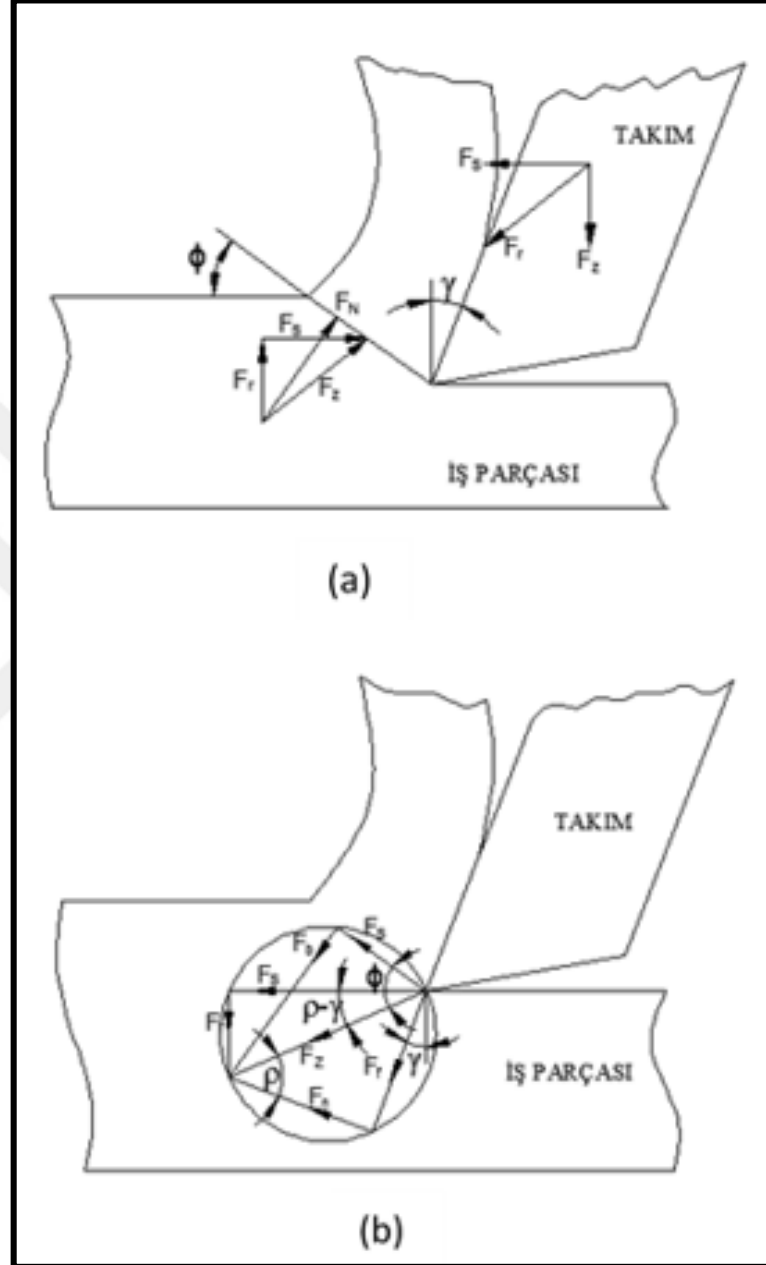
Kesme Kuvveti

Talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için kesici takıma, kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti (F_z) denilen bir kuvvet uygulanır (Şekil 3.3.a). Kesme düzlemindeki kuvvetler kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzlemin ortasında (Şekil 3.3.a) veya Merchant'ın varsayımına göre kesici takımın ucuna (Şekil 3.3.b) uygulanan tek bir kuvvet ile gösterilebilir. Bu son durumda, takım ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti F_z olursa, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden meydana geldiği düşünülebilir. Kesme yönünde kesme kuvveti (F_s) ve bu yöne dik yönde radyal kuvvet (F_r), kesme düzleminde makaslama kuvveti (F_k) ve bu yöne dik yönde basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve bunu meydana getiren normal kuvvet F_n ile F_z arasındaki ρ açısı sürtünme açısıdır, bilindiği gibi sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse

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

dır. Formül 3.2'de açıklanan kuvvetlerden pratik bakımdan en önemli kesme kuvveti F_s ve radyal kuvvet F_r dir. Şekil 3.3'ten görüldüğü gibi kesme düzleminde, kesme direnç kuvvetinin yanı sıra kesici takımı iş parçasından ayırmaya çalışan bir radyal direnç meydana gelmektedir. Dolayısıyla kesici takımı iş parçası üzerinde tutmak

için takıma radyal bir kuvvetin uygulanması gerekir, bu da kesici takımın takım tutturma tertibatına bağlanması ile gerçekleştirilebilir [32].



Şekil 3.3. Talaş kaldırma kuvvetleri [32].

Kesme kuvveti ve kesme kesiti τ_k malzemenin kesme mukavemeti olmak üzere

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

Şeklinde ifade edilirse, 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.

X denkleminde dayanarak, bir malzemeden en düşük enerjiyle talaş kaldırılması için (minimum enerji ilkesine göre) ϕ kesme açısının optimum (ϕ_0) değeri bulunur. Buna göre;

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

bulunur. (3.6) denkleminde F_s ve F_t kuvvetleri,

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

şeklinde yazılır.

Yukarıdaki denklemlerden görüldüğü gibi, talaş kaldırma için harcanan güç için önemli olan F_s kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine (τ_k), talaşın boyutlarına (b,h) talaş açısı (γ), kesme açısı (ϕ) ve sürtünme açısına bağlıdır. Kesme açısı optimum kesme açısı olduğu durumda (Denklemin 3.7), belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti ve dolayısıyla en düşük talaş kaldırma gücü elde edilmektedir [32].

BÖLÜM 4

İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

4.1. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik araştırmalarının ana amacı, ürün kalitesinin en iyi olması ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası malzemesi ile kesici takım etkileşiminin araştırılmasıdır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme aşamaları açısından tasarlanan biçimde (yüzey kalitesi ve toleransı) kolaylıkla işlenebilmesini tanımlamak amacıyla kullanılan bir terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaş biçimlerinin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaşın kaldırılma oranı, oluşan kuvvetin bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş iş parçalarının yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen işleme parametreleri, kesici takımın geometrisi ve özellikleri, iş parçası malzemesinin özellikleriyle işleme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi etkenlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgâhı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [33].

İşlenebilirlik, talaşlı imalat ile şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin, seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere bağlı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, malzemenin bir özelliği gibi olarak algılansa da yalnızca işlenen malzemeye bağlı değildir aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [34].

4.1.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

İşlenebilirliği ısıtma işlemi, mikro yapı, alaşım elementi ve mekanik özellikler gibi etkenler etkilemektedir.

Isıtma işlemi ve mikro-yapının etkisi

Metalin işlenebilirliği, mikro yapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların bulunması kesici takım ömrünü düşürürken, yapısındaki kristaller irileştikçe takım ömrü artmaktadır. Esas olarak çeliğin işlenebilirliği, ilave elementlerin yanı sıra ısıtma işlemleriyle kontrol edilen mikro yapıya bağlı olarak değişebilir. Çoğu alaşımlı ve yüksek karbonlu çeliklerde talaşlı imalat için optimum mikro yapıyı sağlamak amacıyla ısıtma işlemi uygulanmaktadır.

Çeliğin içerisindeki karbon miktarına bağlı olarak işlenebilirlik için en uygun mikro yapıyı veren ısıtma işlemleri, aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Düşük karbonlu ($\leq 0.15C$) çelikler normalleştirilmiş veya soğuk çekilmiş durumda en iyi işlenebilirliğe sahiptirler. Küçük ferritik tane boyuna sahip ve soğuk çekme yolu ile sertliği artırılan çeliğin işlenebilirliği iyileştirme eğilimindedir.
- Yumuşak çelikler ($0.15C-0.45C$) tam tavlama veya normalleştirme tavlama sonrasında maksimum işlenebilirlik gösterir. Bu işlemlerin yapılması çelikte lamelli perlitik yapıyı meydana getirir. Küreselleştirilmiş bir yapı zayıf kesme özelliği vermektedir.
- Orta karbonlu ($0.45C-0.80C$) çeliklerden en iyi işlenebilirlik elde edebilmek için çelikler düşük sertlik sağlayan kaba perlitik ve küreselleştirilmiş karbür yapıya sahip olmalıdır.
- Yüksek karbonlu ($>0.85C$) çelikler, tamamen küreselleştirilmiş mikro yapıda en iyi sertleşebilirliği vermektedir.
- Kaba ve bantlı görünümdeki yapılar kötü bitirme yüzeyleri oluşturarak kısa takım ömrü gösterir [35].

Alaşım elementlerinin etkisi

Çelikte sertliği arttıran ana element karbon elementidir. Karbon miktarında değişme olması işlenebilirlikte de değişmeye neden olmaktadır. Ötektoid altı çeliklerde sementit (Fe_3C) çeliğin sünekliğinin de azaltma oluşturmaktadır. Sertliğin arttırılmasıyla, süneklikteki azalmaya rağmen işlenebilirlikte iyileşme oluşur. Yumuşak çeliklerdeki düşük işlenebilirlik, talaş kaldırma esnasında önemli bir deformasyona izin veren metalin sünekliğinden kaynaklanmaktadır. Bu deformasyon için aşırı güç tüketimi gerekmektedir ve önemli miktarda ısı meydana gelir.

Alaşım elementlerinin, takım ömrüne etkileri farklıdır. Karbon miktarının azalmasıyla, işlenebilirlik özelliği düşmektedir. Çünkü; süneklik arttığından iş parçası malzemesi, kesici takımın ucuna yapışarak takımın körlenmesini hızlandırmaktadır. Diğer bir taraftan, karbon oranı arttıkça iş parçası malzemesinin sertliği arttığından, kesici takımın aşınması hızlanmaktadır [35].

Mekanik özelliklerin etkisi

Malzemelerde genellikle sertlik ve kopma dayanımları arasında ilişki bulunmaktadır. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça, işlenebilirlik özelliği o derece azalmaktadır [35].

4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşın kaldırılması işlemi sırasında, tezgâha girişlerin ve tezgâha dahil diğer önemli işlemlerle birlikte çıkışlarında dikkate alınması gerekmektedir. Bunların arasında kesici takımın malzemeleri, işleme yapılacak iş parçası malzemesi ve tezgâhın rijitliliği sayılabilir. İşlenen malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü ve hassasiyeti malzemenin sonuç amacını belirlemesinden dolayı önemli çıkış parametreleridir. Talaşlı üretimde işlenmiş yüzeylerde hassasiyetin elde edilmesi her daim önemli parametrelerden biri olmaktadır. Yüzeyin hassasiyeti birçok parametreyi içerisine alan terimdir ve bunlar yüzeyin bitimi ve yüzeydeki çatlakların temizlenmesi, kimyasal değişim, yanma, dönüşüm ve aşırı temperleme biçiminde oluşan termal hasar ve iş parçası malzemesinde oluşan kalıcı çekme gerilmesi olabilir. Bu

etmenlerden en önemlisi bitirme yüzeyinin gerçekleştirilmesidir, diğer etmenler ise taşlama işlemleri sonucu oluşan etmenlerle ilgilidir.

Talaş kaldırma işleminin amacı, imalat resminde belirtilen toleranslara göre iş parçalarının istenilen geometrik ölçü ve/veya yüzey kalitesinde nihai ürün üretilmesidir. Makine parçasında parçanın geometrisi, parçanın boyutu ve işleme sonrası oluşan yüzeyin kalitesi işleme kalitesini oluşturmaktadır. Ancak iş parçasının imalat resminde belirtilen ideal ölçüler ile üretimi biten iş parçasının üzerinde boyut, yüzeyin kalitesi ve geometrisi yönünden bazı hatalar oluşabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak tanımlanmaktadır ve iş parçasının kullanıldığı yere göre müsaade edilen miktardaki değerde tutulduğu zaman iş parçasının çalışmasına engel olmamaktadır. Bu toleranslar da makine iş parçasının boyut ve yüzey kalitesini oluşturmaktadır. Toleranslar ne kadar küçük olursa iş parçası yüzeyindeki yüzey kalitesi de o kadar iyi elde edilebilir. İmalat mühendisliği yönünden iş parçalarının kullanılacağı yere göre ekonomiklik de dikkate alınarak iş parçasının uygun ve istenilen yüzey kalitesinde işlenmesi gerekmektedir [36].

Malzemelerin işlenmesi sırasında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü de yüzey kalitesini belirleyen parametrelerden biridir. Ayrıca ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesme hızı, devir sayısı, çalışma şartları (soğutmalı ve kuru) ve tezgâhın rijitliliği gibi parametreler yüzey kalitesini etkileyen başlıca parametrelerdendir. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında bağlı değil ayrıca sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi gibi farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir etmendir. Bu sebeple makine iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilmesi oldukça önemlidir [37].

Yüzey pürüzlülüğü, şleme yapılması için kullanılan imalat yöntemleri ile ve bunları etkileyen parametreler ile meydana gelen, genellikle başka düzensizlikler ile sınırlanan, oldukça küçük aralıklı yüzey düzensizlikleridir. Kesici takımdan ya da üretim esnasında oluşan diğer problemlerden ortaya çıkan yüzey düzensizlikleri, yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanmaktadır. Talaş kaldırma işleminin amacı, iş

parçası malzemelerine yalnızca biçim vermek için değil, iş parçası malzemelerinin geometrisi, boyutu ve yüzeyi bakımından imalat resminde belirtilen belirli bir doğruluk derecesine göre üretiminin yapılmasıdır. Buna işlem kalitesi adı verilmektedir. İş parçası malzemesinin geometrisi, boyutu ve yüzey doğruluğunu kapsayan yüzey kalitesi, talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğindedir [38].

Boyutsal kalite, iş parçası malzemesinin gerçek boyutları arasında izin verilen sapmalardandır. Bu sapmalar boyutsal toleranslar ile ifade edilmektedir. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre belirlenmektedir. İş parçası geometrisinin kalitesi, izin verilen şekil ve konum sapmalarını ihtiva etmektedir. Bunlar, ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve eksenel sapmalara göre üç gruba ayrılır [8].

4.2.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

Talaşlı üretim işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen etkenler iki bağımsız değişkenle özetlenebilir.

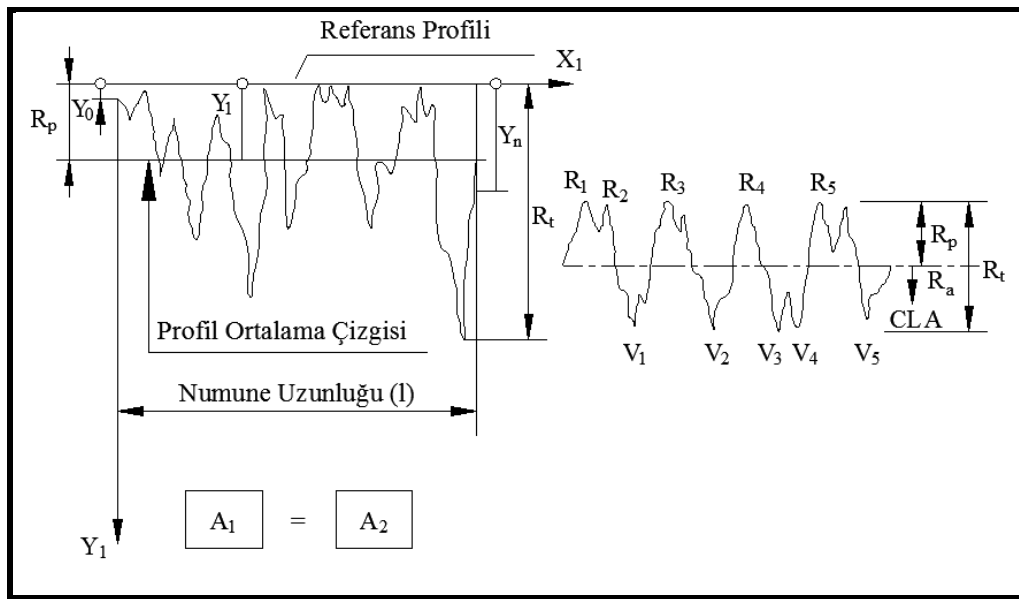
4.2.1.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici takımlarda oluşan hatalar, meydana gelen vurutular ve kesici takıma yapışan talaş yığılması gibi faktörlerin azaltılmasında, kesici uç formuna ve ilerleme miktarına bağlı oluşturulan en iyi bitirme yüzeyi değerlerini göstermektedir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir metot olabilir. Bu amaç ile en genel kullanılan dizi “Ra” aritmetik ortalama değeri olarak bilinmektedir. Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan kesici takımların uç kısımları yuvarlatılmıştır [39].

4.2.1.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü

Tabii yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Tabii yüzey pürüzlülük değerini takım tezgâhının rijitliği, iş parçasını bağlama elemanları, kesici takım sistemi ve çalışma şartları gibi faktörler

etkilemektedir. Bununla beraber kesici takımın kenarındaki yığılmalar da tabii yüzey pürüzlülük değerinin artmasında neden olan faktörlerdendir. Kesme hızının artırılması ile ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılabilir. Kesici takımının uç yarıçapı sabit kalmak şartı ile, ilerleme miktarındaki artış yüzey pürüzlülük değerini arttırmaktadır. Talaş kaldırma işlemiyle işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki çeşit yüzey sapması oluşmaktadır. Dalga, geometrik sapmalar grubuna dahildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder (Şekil 4.1). Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılmaktadır. Bu kriterlere göre pürüzler, iş parçası yüzeyine dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilmektedir. Referans profili olarak genellikle geometrik profil alınmaktadır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak biçimde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. Referans profile (R_t) gören derin pürüzün değeri, referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe (R_q), (R_a) ise ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Pratik olarak yüzey kalitesi genellikle (R_p) veya (R_a)'nın değerleriyle ifade edilmektedir [23].



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [32].

4.2.2. Yüzey Pürüzlülük Değerini Ölçme Teknikleri

Yüzey pürüzlülüğü araştırılacak iş parçası yüzeyinin özelliği bilinen bir yüzeye karşılaştırılmasıyla, izleyici problar ile veya optik cihazlar ile ölçüm yapılmasıyla belirlenmektedir.

Temas yöntemi: İş parçası yüzeyi üzerinde dolaştırılan bir probun, sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen verilerin karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

Mekanik yöntem: Çelik bir bilye kullanılarak en düşük 500 g ağırlığındaki yüzeyde; yüzeyin içerisine doğru bilyenin bir mikronluk yer değiştirilmesiyle yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemidir.

Hidrolik yöntem: Belirli bir eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belirli bir hacimde olan yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında oluşturulan bir ilişki ile pürüzlülük değerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Yüzey dinamometresi yöntemi: İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, iş parçalarının pürüzlülük değerlerine bağlıdır. İki iş parçası birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet, dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilmektedir.

X ışını yöntemi: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerine küçük açılar ile gönderilen X ışınlarıyla 0,00254–0,0508 µm arası pürüzlülük değerleri ölçülebilmektedir.

Elektron mikroskobu yöntemi: Elektron mikroskobunun en küçük düzensizlikleri dahi ölçme kabiliyetine sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu yöntemi sınırlamaktadır.

Replika yöntemi: İş parçasının üzerindeki konumu sebebi ile ölçümü yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz-asetat filminin asetonla

yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılması ile oluşturulan maske, yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi vermektedir.

Elektro fiber optik yöntemi: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek iş parçası malzemesinin X, Y düzleminde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcıyla iş parçası yüzeyine dik olacak şekilde ışın gönderilir. İş parçasının yüzey pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılar ile yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunmaktadır [40].

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek amacıyla farklı yöntemler mevcuttur. Talaşlı imalat yöntemleriyle elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılmaktadır.

İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun iş parçası üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket sırasında meydana gelen titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şeridin üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımı ile yorumlanmasınadayanmaktadır. İzleyici ucun inceliği ölçüm sırasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genellikle iğne (izleyici uç) olarak 90° uç açısına sahip ve 4-12 µm yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [41].

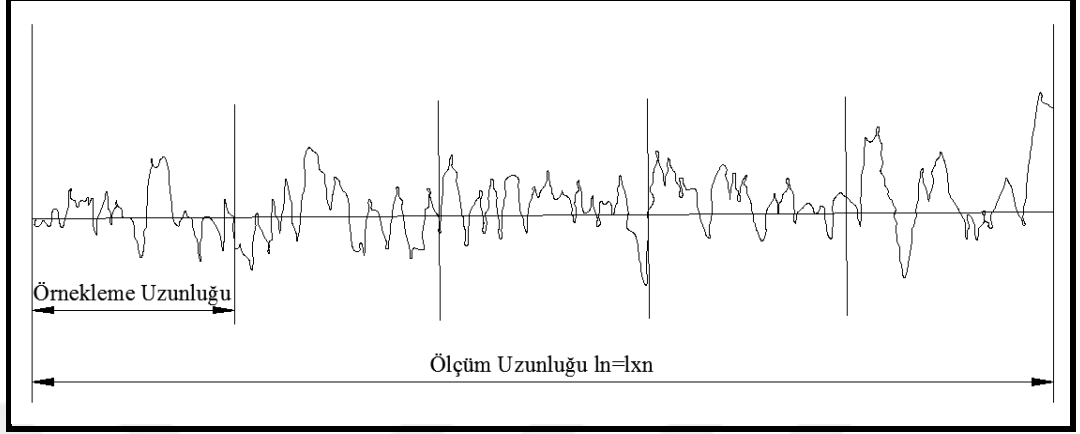
Optik yöntem: Bir yüzeyin üzerine yansıtılan ışının geliş açısıyla yansıma açısının aynı olması gereklidir. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörler ile ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

4.2.3. Pürüzlülük Parametreleri

4.2.3.1. Örnekleme Uzunluğu Ve Örnekleme Sayısı

Şekil 4.2’de (1) ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen ölçüm uzunluğu meydana

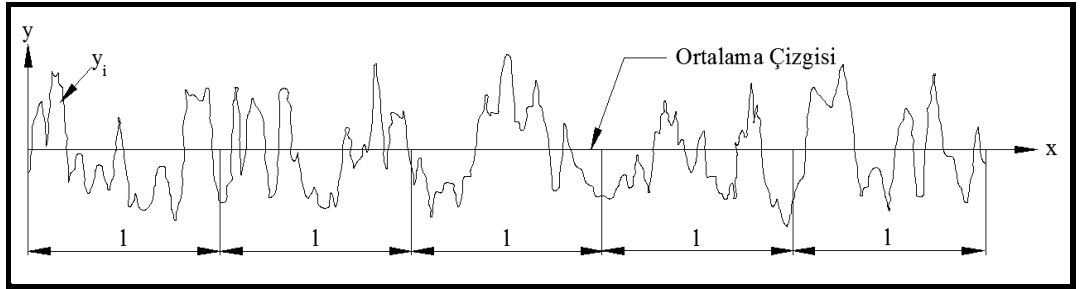
gelir. l_n uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile n çarpılarak elde edilir ($l_n = l \cdot n$) [42].



Şekil 4.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [42].

4.2.3.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içerisinde profilin üstünde ve altında kalan alanların eşit olduğu kısımdan geçen doğrudur [40]. Şekil 4.3'te tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [42].

4.2.3.3. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (R_a)

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üzerindemeydana gelen mutlak yükseklikdeğerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya genelinde kabul görmüş biryüzey 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 aşağıdakişekilde ifade edilebilir [42].

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

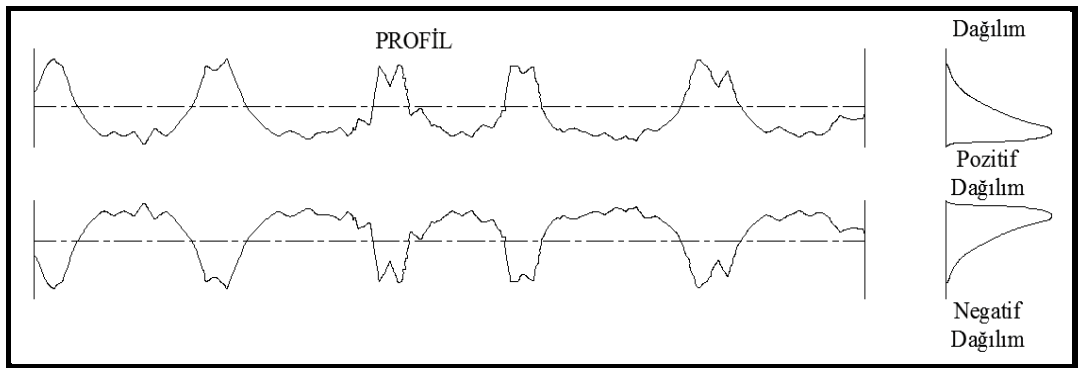
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.2)$$

4.2.3.4. Genlik Dağılım Eğrisi (R_{sk})

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı R_a ve R_q değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [42].

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

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



Şekil 4.4. Profil ve genlik dağılım eğrisi [42].

4.2.4. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

- Kesici ucun üzerine talaşın yapışması
- Kesici takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
- Kesici takım ve iş parçası arasında oluşan titreşim
- Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda meydana gelen izler ve aşınma
- İş parçası malzemesinden talaş kaldırılan yüzeyinde 100 pm'lik derinlikteki kimyasal ve fiziksel özellikler.
- Talaşın plastik akışı.

4.2.4.1. Kesme Parametrelerinin Etkileri

- İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenmektedir. Takım tezgahına aitsapmalar; tezgâhın kinematik mekanizmasında mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmayışından, tezgâhın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı meydana gelmektedir.
- Bağlama elemanlarına ait hatalar; ana elemanların üretim hatalarından, tertibatın yeterli miktarda rijit olmamasından, ana elemanlarda meydana gelen aşınmalardan oluşmaktadır.
- Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanmaktadır.
- Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgâhlardan gelen titreşimlerden kaynaklanmaktadır [32].

4.2.4.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi

Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan

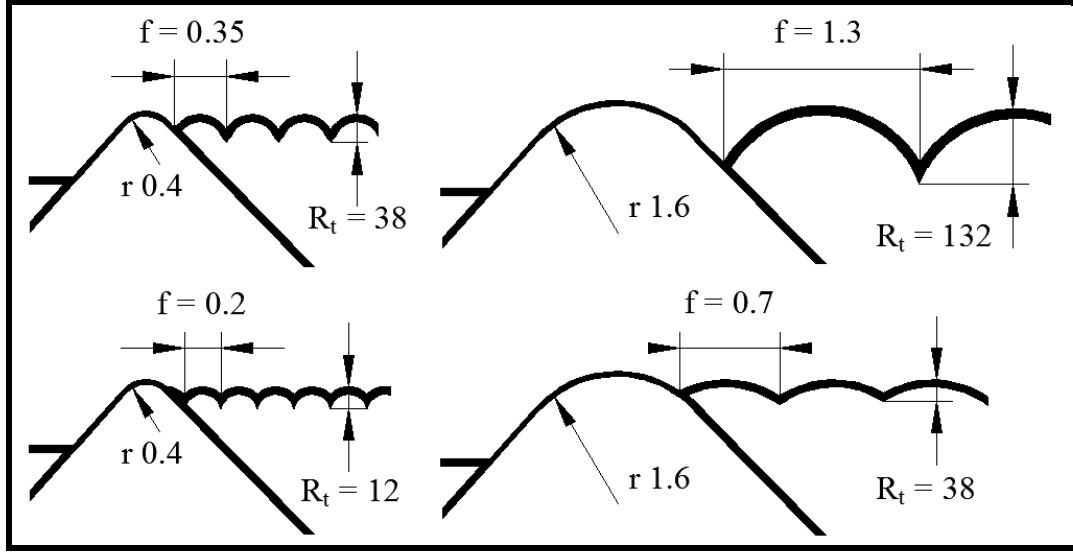
etkilenmektedir. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern tezgâhlarda adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekmektedir. Aksi durumda üretim devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

4.2.4.3. 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 ayrılmaktadır. Kesme kuvvetleri gerek takım gerekse iş parçası üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-iş parçası konumunu değiştirirler ve yüzey kalitesini etkilemektedir. Kesme parça-takım-tezgâh zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla, talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilmektedir. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluşturmaktadır [32].

4.2.4.4. 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 4.5'te teorik yüzey pürüzlülüğü (R_t) değerinin ilerleme (f) ve köşe radyüsüne bağlı (r_c) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir [4].



Şekil 4.5. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri [43].

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

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 (R_a) 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 [44].

BÖLÜM 5

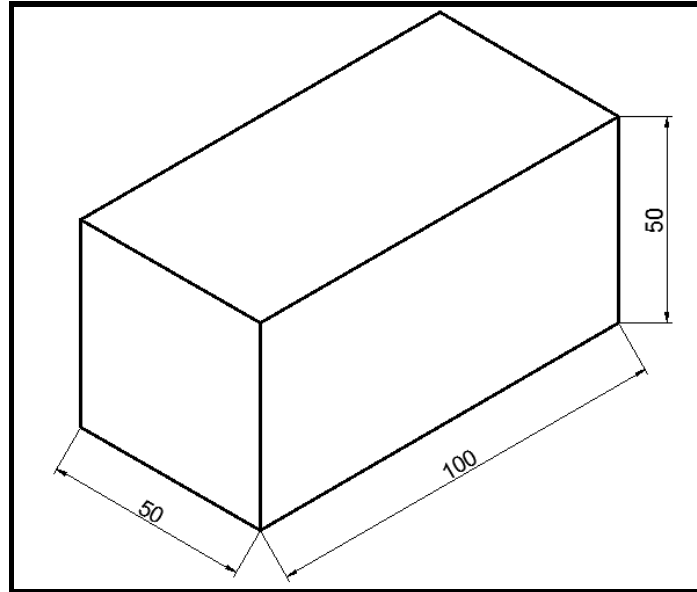
MATERYAL METOD

5.1. DENEY NUMUNELERİ

Deneyleerde kullanılan Toolox 44 çeliği, plastik enjeksiyon ve kauçuk kalıpları, form verme ve kesme kalıpları, metal enjeksiyon kalıpları, sıcak takım çeliklerinde ve sıcak dövme kalıplarında kullanılmaktadır [45]. Toolox 44'ün kimyasal içeriği Çizelge 5.1'de, verilmiştir. Deneyleerde kullanılan iş parçası malzemelerinin boyutları 50x50x100 mm olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Toolox 44 çeliğinin kimyasal içeriği [46].

| Malzeme | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | V |
|----------|------|------|------|-------|--------|------|------|------|-------|
| Toolox44 | 0,30 | 0,61 | 0,89 | 0,010 | 0,0009 | 1,23 | 0,66 | 0,79 | 0,145 |




Şekil 5.1. İş parçası malzemesi boyutları.

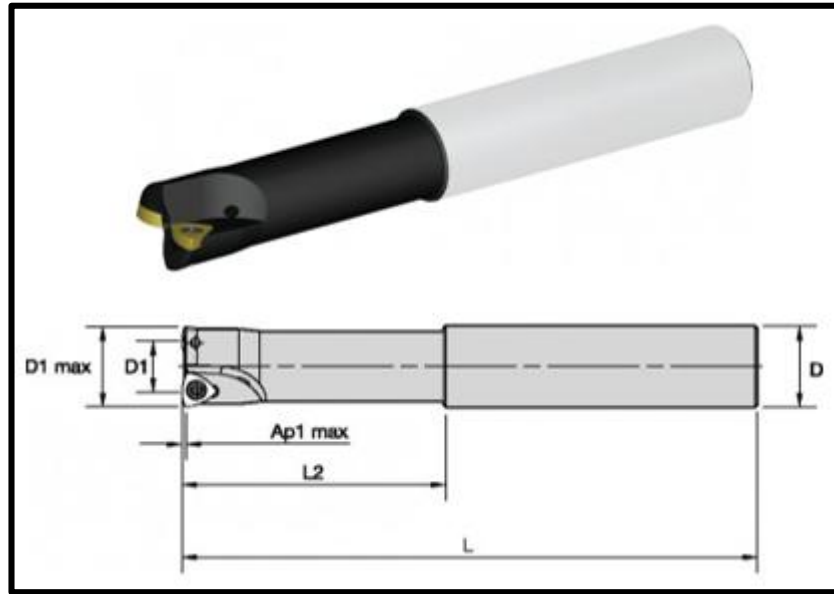
5.2. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

Kesici takım malzemesi olarak KENNAMETAL WPGX 030204 LD 080 fiziksel kaplama yöntemi kullanılarak TiAlN kaplamalı karbür kesici takımları kullanılmıştır. Kesici takım hakkında özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kullanılan kesici takım ve özellikleri.

| Kesici takım kodu | Kalitesi | Boşluk açısı | Uç açısı | Kesici takım geometrisi |
|--------------------|----------|--------------|----------|---|
| WPGX 030204 LD 080 | KC522M | 12° | 80° |  |

Deneylerde kullanılan kesici takımlar, Şekil 5.2’de verilen mekanik sıkmalı 16Y02R060A16SWP03L150 kodlu takım tutucu ile bağlanmıştır. Takım tutucunun özellikleri Çizelge 5.3’te verilmiştir [47].



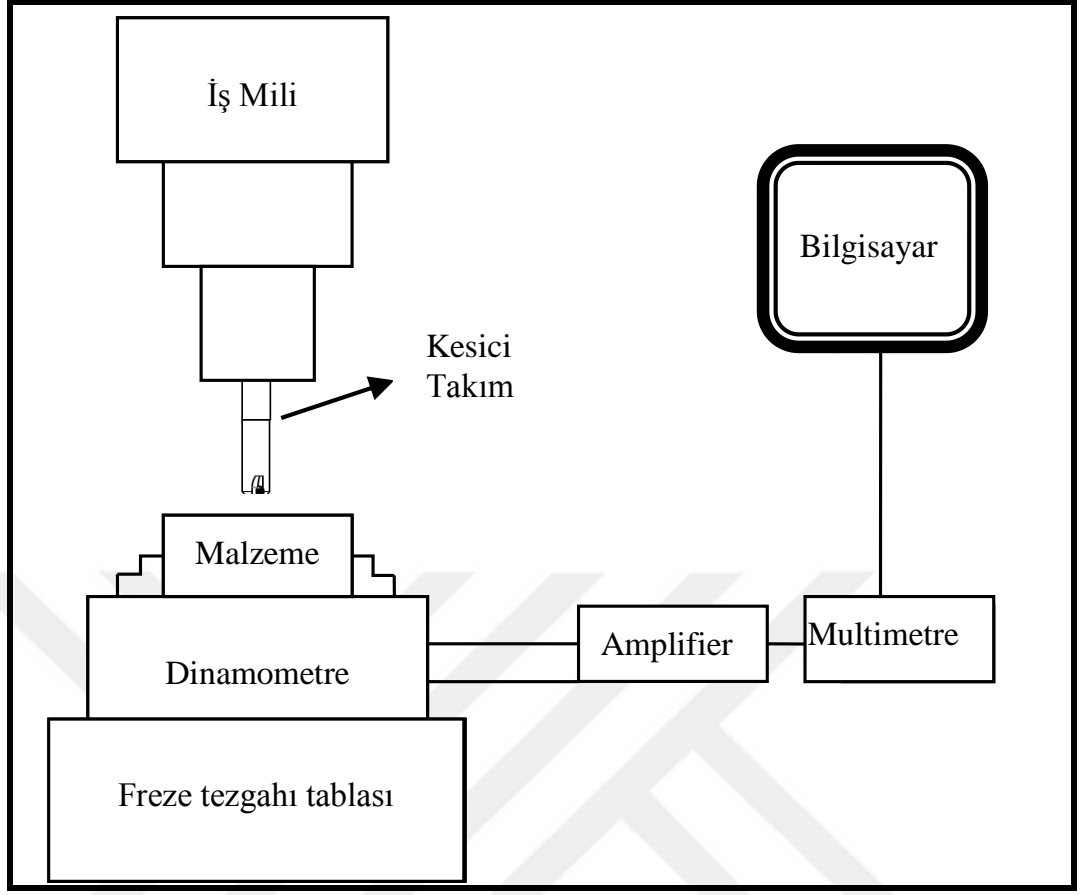
Şekil 5.2. Kesici takım tutucu.

Çizelge 5.3. Kesici takım tutucunun özellikleri [47].

| | |
|--------------------------|------------------|
| D ₁ max (mm) | 16 |
| D ₁ (mm) | 16 |
| D (mm) | 16 |
| L (mm) | 150 |
| L ₂ (mm) | 57 |
| A _{p1} max (mm) | 1 |
| Ağız sayısı (adet) | 2 |
| Ağırlık (kg) | 0,2 |
| Maksimum devir | 15900 |
| Rampa açısı | 7,4 ⁰ |

5.3. TAKIM TEZGAHI VE DENEY DÜZENEGİ

Bu çalışmanın işlenebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi imalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan CNC freze tezgahında yapılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



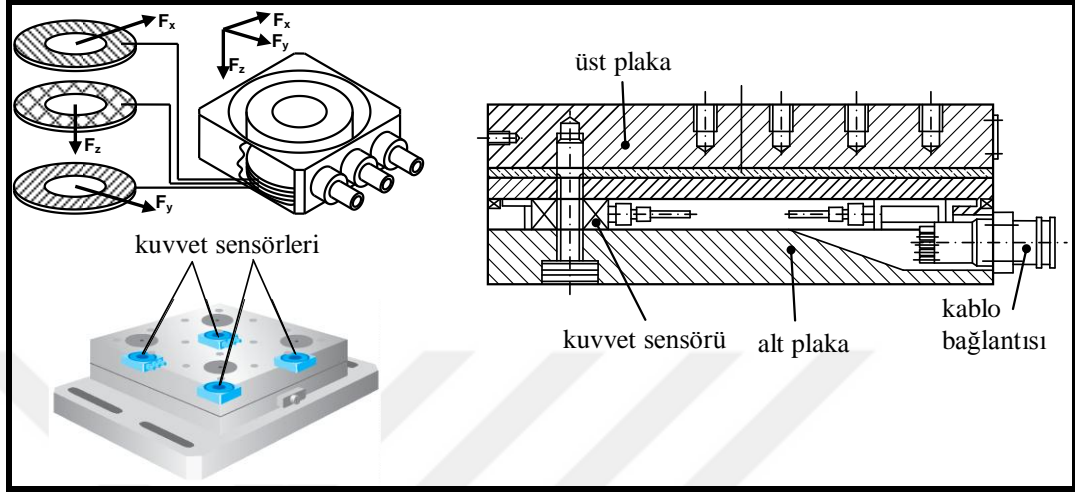
Şekil 5.3. CNC freze tezgahında kullanılan deney düzeneği.

Kullanılan tezgâhın bazı özellikleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Deneylerin yapıldığı CNC freze tezgâhın özellikleri.

| | |
|----------------------|-------------------------------------|
| Model | Johnford VMC-550 Dik İşleme merkezi |
| Kontrol tipi | Fanuc O-M serisi |
| X eksen hareketi | 500 mm |
| Y eksen hareketi | 500 mm |
| Z eksen hareketi | 450 mm |
| Devir sayısı | 60-6000 dev/dak |
| Motor gücü | 10 HP (7,5 kW) |
| X-Y-Z hızlı ilerleme | 15-15-12 m/dak |
| Kesme ilerlemesi | 1-4000 mm/dak |

Yapılan deneyler sırasında Kesme kuvvetleri Kistler 9257B tipi dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 5.4). Deneyler esnasında ve sonrasında verileri almada/ölçmede kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri Çizelge 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.4. Kistler 9257B dinamometresinin elemanları [30].

Çizelge 5.5. Kullanılan dinamometrenin 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 veri alma, ± 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 |

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Yüzey pürüzlülük değerleri Marsurf PS1 marka masa tipi yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri.

| | |
|------------------------|---|
| Model | Mahr (Marsurf PS1) |
| Ölçüm yöntemi | İzleyici uçlu cihazlar yöntemi |
| Tarama hızı | 0,5mm/sn(ölçüm yaparken) 1mm/sn (geri dönüşte) |
| Ölçme Kuvveti | 4 mN (0,4 gf) |
| Uç malzemesi | Elmas |
| Ölçme sıcaklığı | 20 °C ± 1 °C |
| Numune uzunluğu | 0,8 mm |
| Değerlendirme uzunluğu | 4 mm |
| İzleyici uç yarıçapı | 5 µm |

5.5. DENEY PARAMETRELERİ

Deneyleerde dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme miktarı, iki farklı talaş derinliği ve kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır. Kullanılan deney değişkenleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Deney değişkenleri.

| Kesme Şartı | Parametre/Özellik |
|-------------------------------|------------------------|
| Kesici Takım | TiAlN kaplamalı karbür |
| Kesme Hızı (m/dak) | 150-180-210-240 |
| İlerleme miktarı (mm/dev) | 0,4-0,8-1,2-1,6 |
| Talaş derinliği (mm) | 0,2-0,4 |
| Kesme Genişliği (mm) | 8 |
| Kesme boyu (mm) | 100 |
| Kesici ağız sayısı (adet) | 1 |
| Kesici takım tutucu çapı (mm) | Ø16 |
| Malzeme sertliği (HRC) | 45 |
| Kesme yöntemi | Yüzey frezeleme |

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen deneyler de işleme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) göre oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Toolox 44 çeliğinin TiAlN kaplamalı sementit karbür takım ile dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve iki farklı talaş derinliği ile işlenmesi sonucu meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) ve kesme kuvveti (N) değerleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri frezeleme yöntemiyle yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) her deney sonrası işlenen yüzeyin üç farklı bölümünden ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Kesme kuvvetleri her düzlemde (X, Y, Z) oluşan kuvvetler için değerlendirilmiştir. Fakat Z ekseninde oluşan kuvvetler diğer düzlemlere göre daha yüksek oluşmuştur. Bunun nedeni kesici uç geometrisinin radyüsünden ve talaş derinliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Değerlendirmelerde en yüksek kesme kuvveti oluşan Z yönü değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney verileri.

| Malzeme | Kesici Takım | Talaş Derinliği (mm) | İlerleme (mm/dev) | Kesme Hızı (m/dak) | Yüzey pürüzlülüğü Ra (µm) | Kesme Kuvveti (N) |
|-----------|---------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Toolox 44 | TiAlN kaplamalı sementit karbür | 0,2 | 0,4 | 150 | 0,946 | 198,3 |
| | | | | 180 | 0,533 | 143,3 |
| | | | | 210 | 0,952 | 103,9 |
| | | | | 240 | 2,127 | 16,3 |
| | | | 0,8 | 150 | 1,691 | 218,5 |
| | | | | 180 | 1,184 | 153,3 |
| | | | | 210 | 1,454 | 117,3 |
| | | | | 240 | 1,616 | 58,2 |
| | | | 1,2 | 150 | 2,264 | 294,4 |
| | | | | 180 | 3,126 | 255,2 |

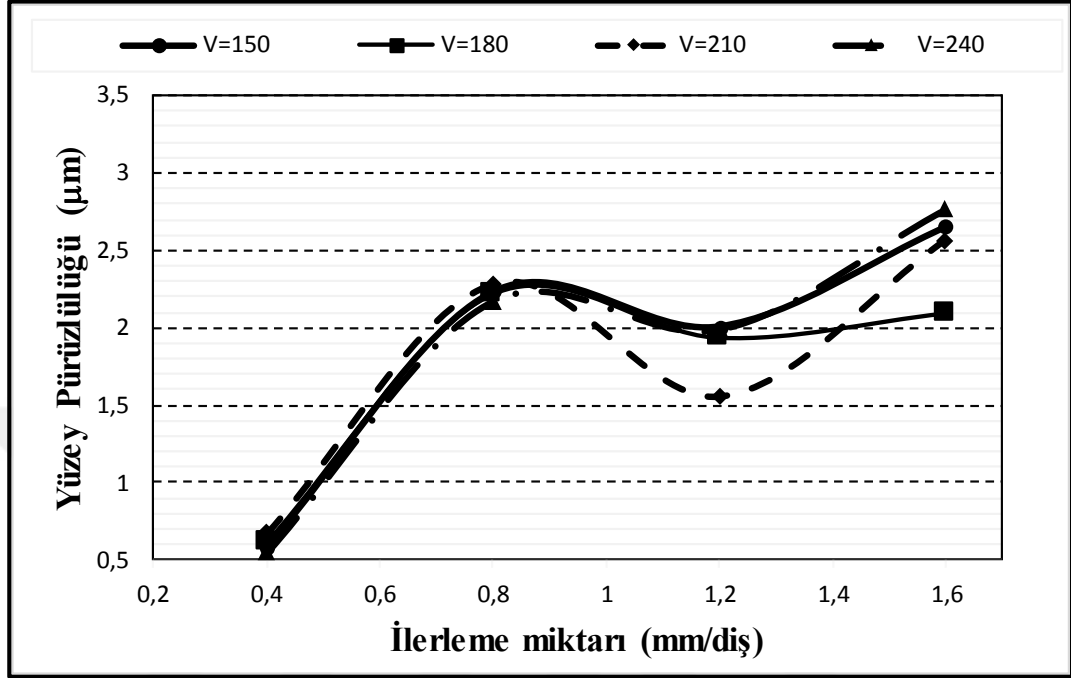
Çizelge 6.2. Deney verileri.

| Malzeme | Kesici Takım | Talaş Derinliği (mm) | İlerleme (mm/diş) | Kesme Hızı (m/dak) | Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm) | Kesme Kuvveti (N) |
|-----------|---------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Toolox 44 | TiAlN Kaplamalı Sementit Karbür | 0,2 | 1,2 | 210 | 1,013 | 201,3 |
| | | | | 240 | 1,876 | 175,6 |
| | | | 1,6 | 150 | 2,448 | 292,4 |
| | | | | 180 | 2,806 | 339,4 |
| | | | | 210 | 2,585 | 303,6 |
| | | | | 240 | 2,067 | 271,3 |
| | | 0,4 | 0,4 | 150 | 0,583 | 212,6 |
| | | | | 180 | 0,612 | 198,7 |
| | | | | 210 | 0,677 | 178,1 |
| | | | | 240 | 0,551 | 150,8 |
| | | | 0,8 | 150 | 2,236 | 316,5 |
| | | | | 180 | 2,216 | 279,1 |
| | | | | 210 | 2,280 | 263,9 |
| | | | | 240 | 2,175 | 247,9 |
| | | | 1,2 | 150 | 2,010 | 359,5 |
| | | | | 180 | 1,937 | 326,8 |
| | | | | 210 | 1,556 | 340,6 |
| | | | | 240 | 1,991 | 293,5 |
| | | 1,6 | 150 | 2,655 | 370,8 | |
| | | | 180 | 2,768 | 410,7 | |
| | | | 210 | 2,565 | 368,0 | |
| | | | 240 | 2,094 | 316,6 | |

6.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNE ETKİSİ

Talaşlı üretimde işlenebilirlik deneylerinin yapımında yüzey pürüzlülüğü işleme kriterlerinden biri sayılmaktadır. Toolox 44 çeliğinin TiAlN kaplamalı sementit karbür takım ile dört farklı kesme hızı (150,180,210 ve 240 m/dak), dört farklı ilerleme miktarı (0,4,0,8,1,2 ve 1,6 mm/diş) ve iki farklı talaş derinliği (0,2 ve 0,4 mm) ile işlenmesi sonucu meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

0,4 mm kesme derinliğinde,kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri değişimi Şekil 6.1’de verilmiştir.



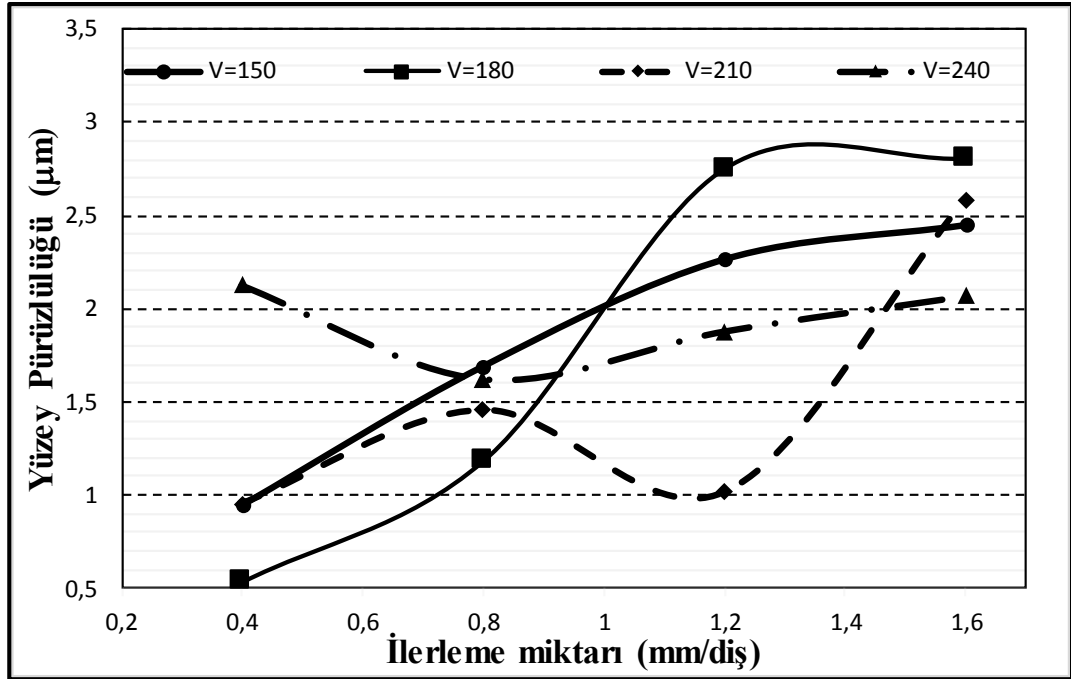
Şekil 6.1. 0,4 mm kesme derinliğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü.

Şekil 6.1’deki pürüzlülük grafiğinden kesme hızının ve ilerleme miktarının artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. En düşük ilerleme miktarının 0,4 mm/diş değerinde, bütün kesme hızı değerinde yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin yaklaşık 0,5 µm değerinde olduğu gözlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri (0,551 µm) 0,4 mm/diş ilerleme miktarında ve 240 m/dak kesme hızında oluşmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri (2,768 µm) ise 1,6 mm/diş ilerleme miktarında ve 240 m/dak kesme hızında oluşmuştur. Bunun nedeni ilerleme miktarının artmasıyla kesici takımın iş parçası üzerinde daha büyük adımlarla ilerlemekte ve oluşan iz aralıklarının büyümesinden dolayı yüzey pürüzlülükleri atmaktadır. Kesme hızlarına (150,180,210 ve 240 m/dak) göre en yüksek pürüzlülük değerlerinin olduğu 1,6 mm/diş ilerleme miktarında 180 m/dak kesme hızı dışındaki kesme hızlarında %4 sapma oluşmuştur. Kesme hızlarına (150,180,210 ve 240 m/dak) göre en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin olduğu 0,4 mm/diş ilerleme miktarında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri arasında %4,7 ile %10 arasında değişiklik oluşmuştur. Yüzey pürüzlülük değerinin en düşük olduğu

değer (0,4 mm/diş ilerleme miktarı ve 240 m/dak kesme hızında oluşmuştur) ile (0,551 μm) en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri (1,6 mm/diş ilerleme miktarı ve 240 m/dak kesme hızında oluşmuştur) (2,768 μm) arasında %402'lik bir artış oluşmuştur. İlerleme miktarlarına göre bütün kesme hızlarındaki yüzey pürüzlülüklerinin yüzde değişimleri ise 0,4 mm/diş ile 0,8 mm/diş ilerleme miktarları arasında %313 artış oluşmuştur. İlerleme miktarının 0,8 mm/diş ile 1,2 mm/diş arasında en büyük değişim 210 m/dak kesme hızındayaklaşık %40 olarak düşüş oluşmuştur. İlerleme miktarlarının 1,2 mm/diş ile 1,6 mm/diş arasındaki en yüksek değişim 210 m/dak kesme hızında yaklaşık %65 olarak artış olmuştur.

Bütün kesme hızlarının 1,2 mm/diş ilerleme miktarındayüzey pürüzlülük değerinin bir önceki ilerleme miktarına (0,8 mm/diş) göre düşmesi yapılan deney sırasındaki sıcaklık artışı ve oluşan talaşın iş parçası malzemesine baskı uygulaması sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülüklerin düzleşmesi ile açıklanabilir.

0,2 mm kesme derinliğindeyapılan deneylerde kesme hızına ve ilerleme miktarlarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri değişimi Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. 0,2 mm kesme derinliğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü.

Yapılan deneylerde diş başına ilerleme miktarının ve kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değerinin (0,533 μm) 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 180 m/dak kesme hızında olduğu görölmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülük değerinin (3,126 μm) 1,2 mm/diş ilerleme miktarında 180 m/dak kesme hızında olduğu görölmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü (0,533 μm) ile en yüksek yüzey pürüzlülüğü (3,126) ile %486 değişim bulunmaktadır. Bütün kesme hızlarında (150,180,210 ve 240 m/dak) ilerleme miktarının 0,8 mm/diş ve 1,6 mm/diş olarak gerçekleştirildiği deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Bütün kesme hızlarında ve ilerleme miktarının 0,8 mm/diş ile 1,6 mm/diş olduğu deneylerde %20-%25 arasında değişim görölmektedir. Genel olarak Şekil 7.2'deki grafik incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerindeki en yüksek değişimin %164 olarak hesaplanmıştır. Bu en yüksek değişim 180 m/dak kesme hızında 0,8 mm/diş ilerleme miktarından 1,2 mm/diş ilerleme miktarına arttığında gözlenmiştir. En az değişim ise %16 olarak 240 m/dak kesme hızının 0,8 mm/diş ilerleme miktarından 1,2 mm/diş miktarına çıkışta gerçekleştiği görölmüştür. Kesme hızının 210 m/dak olduğu ve ilerleme miktarının 1,2 mm/diş olduğunda pürüzlülük değeri 210 m/dak kesme hızında 0,8 mm/diş ilerleme miktarına göre %30,3 oranında azalarak yüzey pürüzlülük değeri 1,013 μm olmuştur. Bunun nedeni diş başına ilerleme miktarının artması kesici takımın işlenen parça üzerinde aldığı yolun ve kesici takımların izlerinin aralıklarını arttırmaktadır. Bu ise yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçümlerde yüzey pürüzlülük değerlerin artmasına neden olmaktadır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma, ilerleme ve talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin artması yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [48,49].

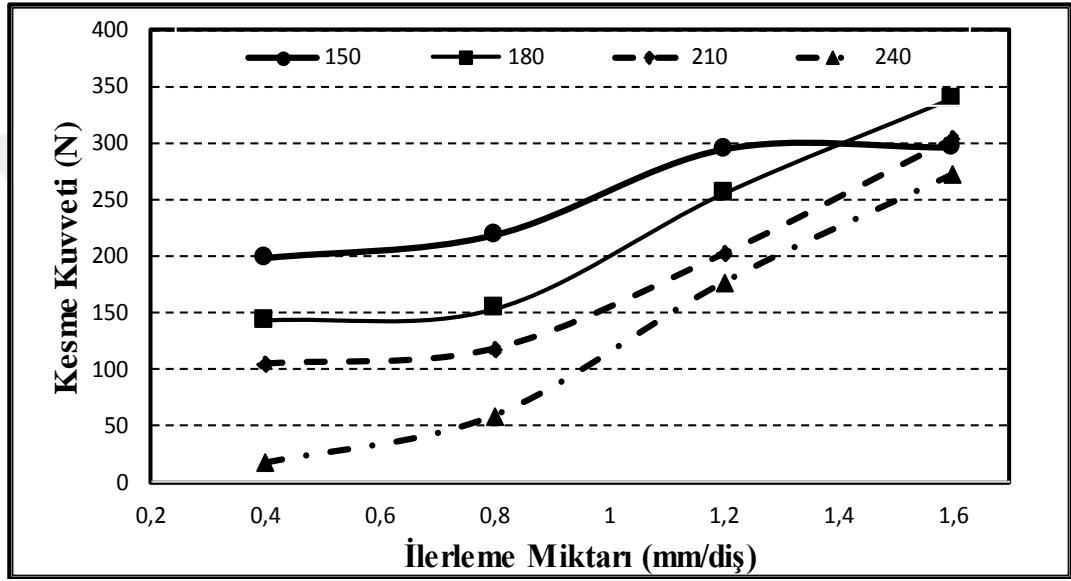
6.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN KESME KUVVETİNE ETKİŐİ

Deneysel çalışmada, yüzey frezeleme yöntemi gerçekleştirilerek kesme kuvveti ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda her ekseninde oluşan kuvvetler değerlendirilmiş, en yüksek kuvvetin Z ekseninde olduğu görölmüştür. Bunun nedeni kullanılan kesici takım geometrisinin geleneksel kesici takımlara göre farklı olmasıdır. Bu fark geleneksel kesici takımların kesici kenarlarının düz, deneyler de kullanılan kesici takımların kesici kenarlarının oval olmasıdır. Bu nedenle Z eksenini

dikkate alınarak hem ilerleme miktarına hem de kesme hızına göre kesme kuvveti grafikleri çizilerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

6.2.1. İlerleme Miktarına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

0,2 mm kesme derinliğinde farklı kesme hızlarında (150,180,210 ve 240 m/dak) ve ilerleme miktarlarının kesme kuvvetlerine etkisi Şekil 6.3'te verilmiştir.

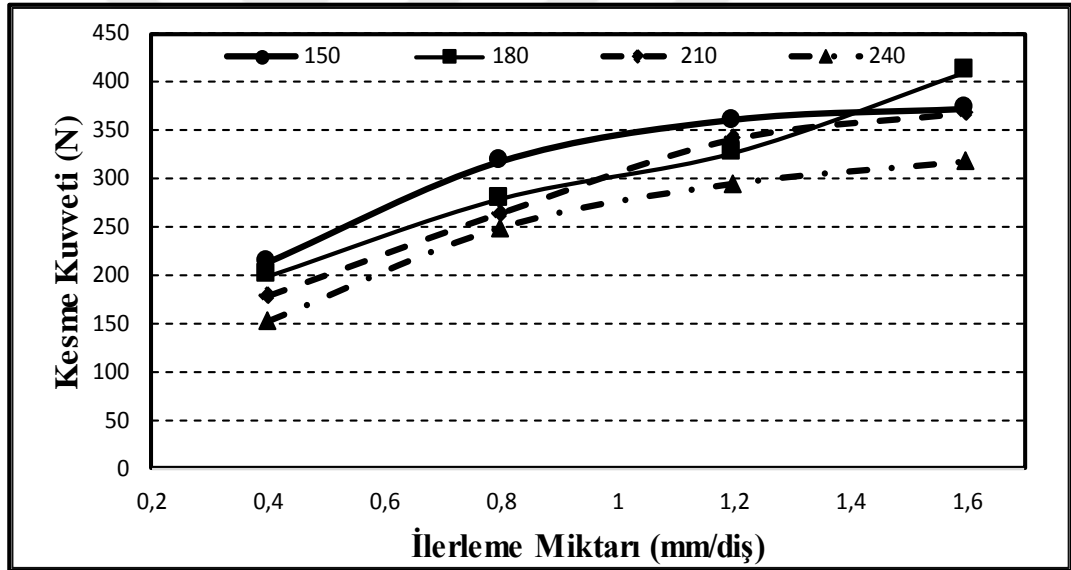


Şekil 6.3. 0,2 mm kesme derinliğinde ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi.

Şekil 6.3'teki grafikte ilerleme miktarının 0,4 mm/diş'ten 1,6 mm/diş'e artmasıyla bütün kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesme hızının 150 m/dak'dan 240 m/dak'ya artmasıyla yapılan deneylerde kesme kuvvetlerinde ilerleme miktarlarına (0,4,0,8,1,2 ve 1,6 mm/diş) göre azalma görülmektedir. En düşük kesme kuvveti değeri (16,3 N) 0,2 mm/diş ilerleme miktarı, kesme hızının 240 m/dak olarak yapılan deneylerde elde edildiği gözlenmiştir. En yüksek kesme kuvvetinin değeri (339,4 N) ilerleme miktarının 1,6 mm/diş kesme hızının 180 m/dak olarak yapılan deneylerde olduğu görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti (339,4 N) ile en düşük kesme kuvveti (16,3 N) arasında yaklaşık 20 kat değişim görülmektedir. En yüksek değişimin %65 olarak kesme hızının 180 m/dak olduğu ilerleme miktarının %50 artırılarak 0,8 mm/diş'ten 1,2 mm/diş'e çıktığı deneylerde

görülmektedir. En düşük değişimin %7 olduğu yer ise kesme hızının 150 m/dak olduğu ilerleme miktarının %50 artırılarak 1,2 mm/diş'te 1,6 mm/diş'e artışında olduğu görülmektedir. Kesme hızının 150 m/dak ve ilerleme miktarının 1,6 mm/diş olduğun da bir önceki 1,2 mm/diş ilerleme miktarına göre kesme kuvvetinde azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma oluşumun nedeni, hem takım-talaş temas yüzeyinde azalmanın olması, hem de kesme hızının artmasıyla beraberinde birinci ve ikinci deformasyonun olduğu bölgelerde artan sıcaklığın iş parçası malzemesinde akma mukavemetini düşürmesiyle açıklanabilir [50].

0,4 mm kesme derinliğinin olduğu durumda dört farklı kesme hızında (150,180,210 ve 240 m/dak) ilerleme miktarının kesme kuvvetine göre etkisi Şekil 6.4'te verilmiştir.



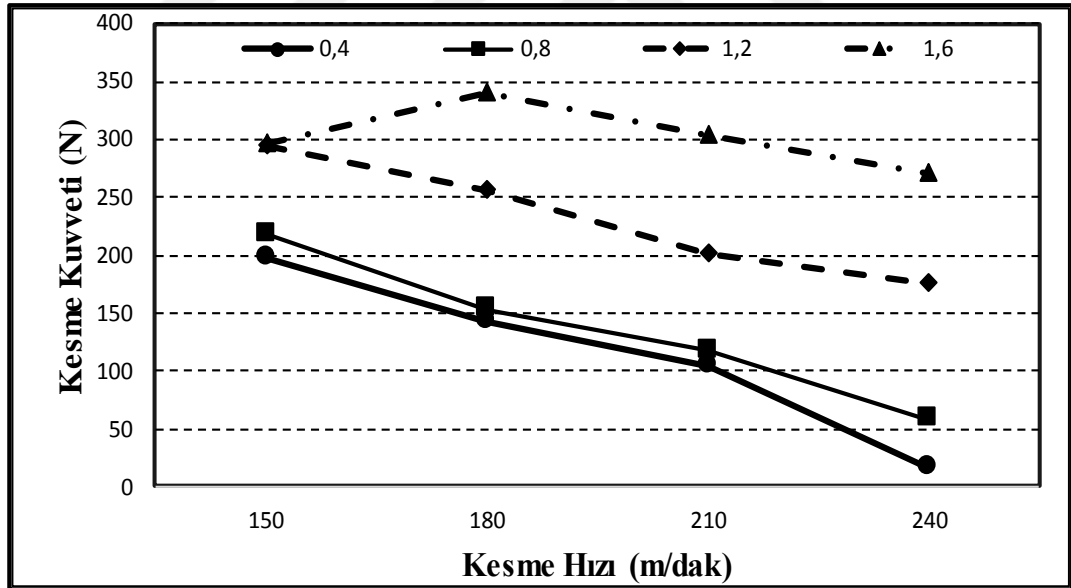
Şekil 6.4. 0,4 mm kesme derinliğinin de ve farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarının kesme kuvvetinin Fz bileşenine etkisi.

Şekil 6.4'teki grafiğe göre ilerleme miktarlarının (0,4,0,8,1,2 ve 1,6 mm/diş) artmasıyla 150,180,210 ve 240 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde kesme kuvvetlerinde artış görülmektedir. En düşük kesme kuvveti değeri (150,8 N) ilerleme miktarının 0,4 mm/diş ve kesme hızının 240 m/dak olarak yapılan deneylerde olduğu görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti değerinin (410,7 N) ise kesme hızının 180 m/dak olduğu ilerleme miktarının 1,6 mm/diş olarak yapılan deneylerde olduğu

görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti değeri (410,7 N) ile en düşük kesme kuvveti değeri (150,8 N) arasında %172'lik bir değişim olmuştur. Şekil 7.4'teki grafik incelendiğinde kesme kuvvetindeki yüksek değişimin %26 olarak 180 m/dak kesme hızı değerinde yapılan deneylerde ilerleme miktarının 1,2 mm/diş'ten 1,6 mm/diş'e çıkmasıyla oluşmuştur. Kesme kuvvetindeki en düşük değişim %8 olarak 240 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarının 1,2 mm/diş'te 1,6 mm/diş'e çıkışında gerçekleştirilen deneylerde olduğu görülmektedir.

6.2.2. Kesme Hızına Göre Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

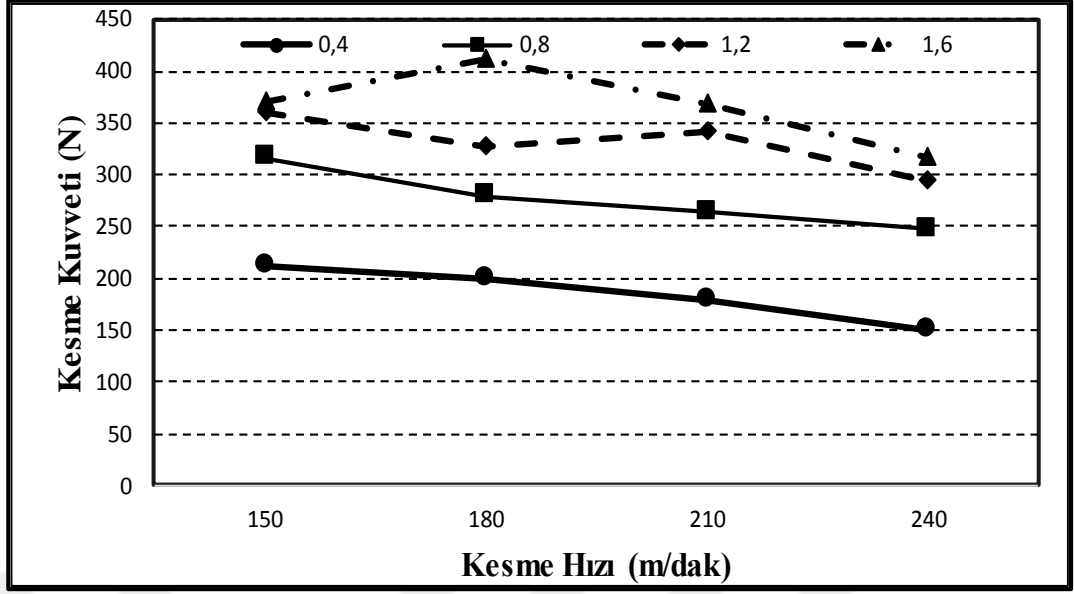
Kesme kuvvetinin ikinci değerlendirilmesi kesme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu kesme hızına ve iki farklı talaş derinliğine göre kesme kuvvetlerinin değişim grafikleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.5. 0.2 mm kesme derinliğinde ve farklı ilerleme miktarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi.

Şekil 6.5'teki kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı grafiği incelendiğinde kesme hızının 150m/dak'dan 240 m/dak'ya artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüş meydana gelmektedir. Kesme hızına bağlı olarak en düşük kesme kuvveti değerinin 16,3 N olarak ölçüldüğü 240 m/dak kesme hızında diş başı ilerleme miktarının 1,6 mm/diş

olarak yapılan deneylerde olduğu görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti değeri ise 339,4 N olarak kesme hızının 180 m/dak olduğu diş başına ilerleme miktarının 1,6 mm/diş olduğu deneylerde meydana gelmiştir. Diş başına ilerleme miktarının 0,4 mm/diş ve 0,8 mm/diş olarak yapılan deneyler birbirlerine yakın değerler oluşturmuştur. Aynı durumun diş başına ilerleme miktarının 1,2 mm/diş ve 1,6 mm/diş olarak yapılan deneylerde de olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının 0,4 mm/diş ile 0,8 mm/diş olan deneylerde kesme hızının 150 m/dak'dan 240 m/dak'ya her bir deneyin bir önceki kesme hızına 30 m/dak artış eklenerek gerçekleştirildiğinde aralarındaki değişimin yaklaşık olarak %27 azalma olarak görülmektedir. Fakat diş başına ilerleme miktarının 0,4 mm/diş olduğu deneylerde 210 m/dak'dan 240 m/dak'ya çıkış parametresinde değişim yaklaşık olarak %84 olmuştur. Bunun nedeni düşük ve orta kesme hızlarında meydana gelen yığıntı talaş oluşumu ile açıklanabilir. Yani kesme hızının artması kesici takım ile talaş arasındaki yüzeyin azalması ve sıcaklık artışıyla yığıntı talaş oluşumunu azaltarak sürtünmenin azalmasına neden olur ve kesme kuvvetinin düşmesine neden olmaktadır. Bu şekilde kesme hızının artması kesme kuvvetini düşmesini sağlamaktadır [21,51]. Diş başına ilerleme miktarının 1,2 mm/diş ile 1,6 mm/diş olarak yapılan deneylerde kesme hızlarına (150-180-210-240 m/dak) bağlı olarak aralarında değişim yaklaşık olarak %13'tür. Fakat kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin de düşmesini beklerken diş başına ilerleme miktarının 1,6 mm/diş olarak gerçekleştirilen deneylerde 150 m/dak kesme hızından 180 m/dak kesme hızına çıktığında kesme kuvvetinde artma meydana gelmiştir. Bunu kesme hızının arttırılmasıyla birlikte kesici takımda oluşan aşınmanın artışı ile açıklayabiliriz.



Şekil 6.6. 0,4 mm kesme derinliğinde ve farklı ilerleme miktarlarında; kesme hızlarının kesme kuvvetine etkisi.

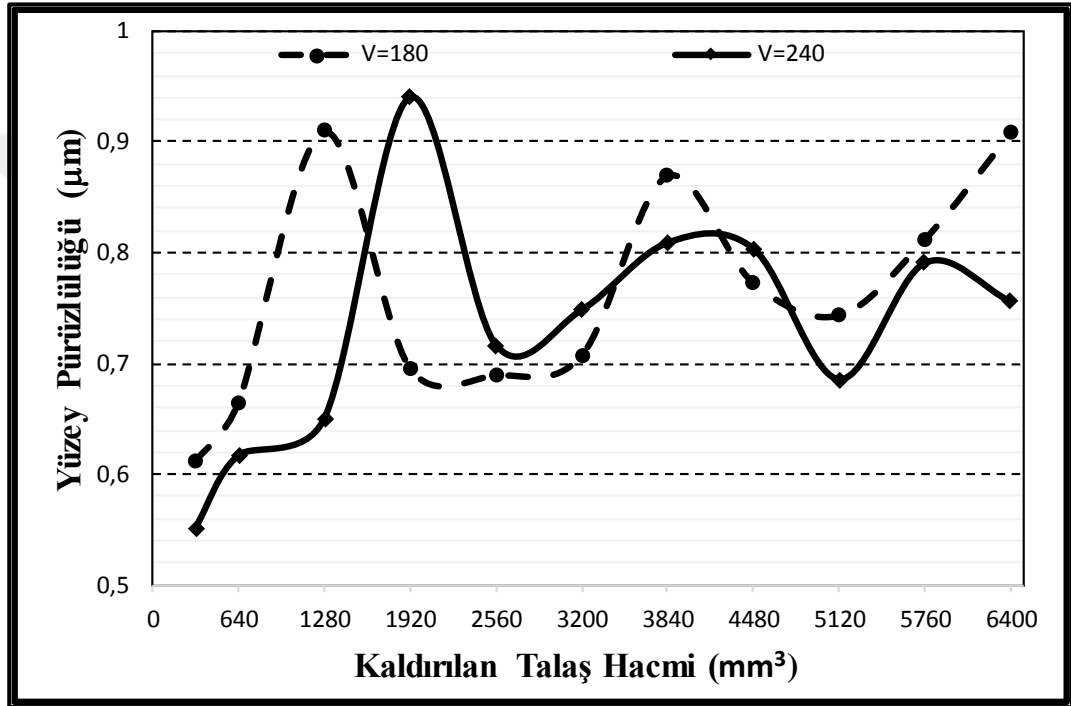
Şekil 6.6'daki grafiği incelediğimizde Şekil 6.5'teki gibi ilerleme miktarlarına (0,4,0,8,1,2 ve 1,6 mm/diş) bağlı olarak kesme hızlarının 150 m/dak'dan 240 m/dak'ya çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüş meydana geldiği görülmektedir. İlerleme miktarının 0,4 mm/diş olarak yapılan deneylerde bütün kesme hızları arasında yaklaşık olarak %10'luk bir değişim bulunmaktadır. En az değişimin dış başına ilerleme miktarının 0,8 mm/diş olduğu kesme hızı değerinin 180 m/dak'dan 210 m/dak'ya yükselişinde yapılan deneylerde yaklaşık olarak %5 olduğu görülmektedir. En yüksek değişim ise yaklaşık olarak %14 olduğu ilerleme miktarının 1,2 mm/diş ve kesme hızı değerinin 210 m/dak'dan 240 m/dak'ya yükselişinde olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının 1,2 mm/diş olduğu kesme hızının 180 m/dak'dan 210 m/dak'ya çıkışında ve ilerleme miktarının 1,6 mm/diş olduğu kesme hızının 150 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkışında kesme kuvvetlerinin düşmeyip arttığı görülmektedir. Bunun nedeni kesici takımında meydana gelen takım aşınmasının artması olarak açıklanabilir.

6.3. KESİCİ TAKIM AŞINMALARI

İki farklı kesme hızında, sabit ilerleme miktarında ve farklı kesme derinliklerinde yapılan deneyler sonucunda oluşan takım aşınmaları taramalı elektron

mikroskobunda (SEM) 500X büyütme ile incelenerek aşınma fotoğrafları ve oluşan pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır.

Aşınma deneyleri sırasında yüzey pürüzlülük değeri ilk olarak 0,4 mm kesme derinliği değerinde alınmış olup. Daha sonradan her 0,8 mm kesme derinliğinde alınmıştır. Aşınma deneyleri sırasında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 6.7’de verilmiştir.

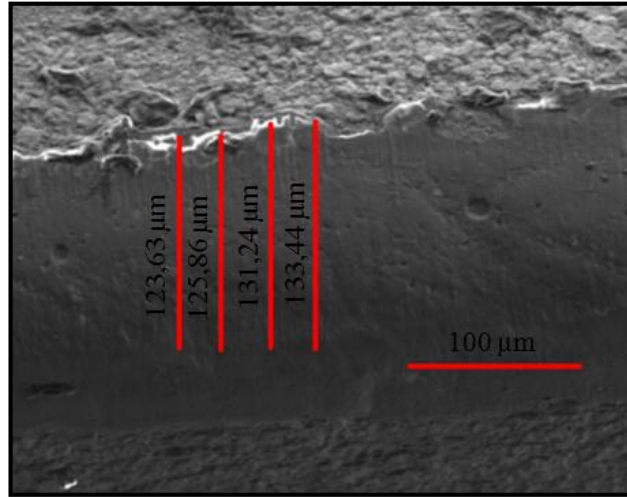


Şekil 6.7. Farklı kesme hızlarında sabit ilerleme miktarında ve farklı talaş hacimlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

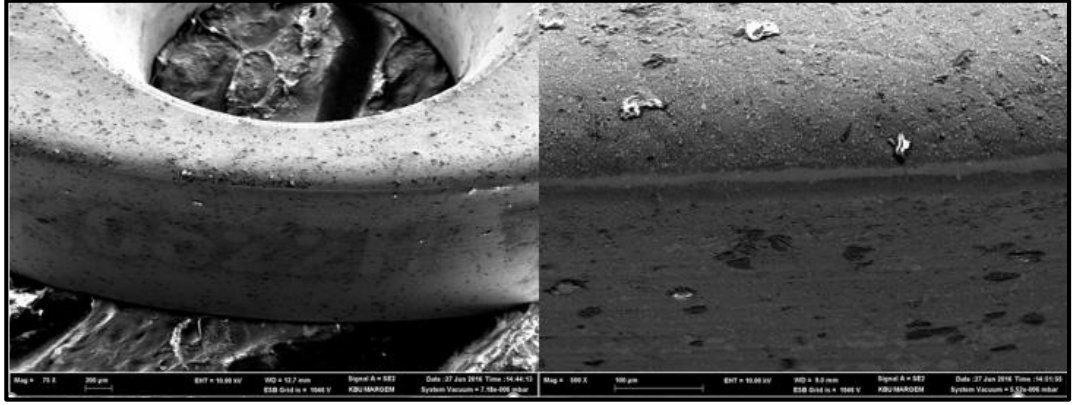
Şekil 6.7’deki grafik incelendiğinde genel olarak kesme derinliğinin ve kaldırılan talaş hacminin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşüğü 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 0,4 mm talaş derinliğinde ve 320 mm³ talaş hacminde (0,551 µm) meydana gelmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 2,4 mm talaş derinliğinde ve 1920 mm³ talaş hacminde (0,940 µm) meydana gelmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri (0,551 µm) ile en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (0,940 µm) arasında %70’lik bir değişim oluşmuştur. İki farklı kesme derinliğinde en yüksek değişimin yaklaşık %45 olarak

240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında ve 1,6 mm kesme derinliğinden (1280 mm³ talaş hacminde) 2,4 mm kesme derinliğine (1920 mm³ hacme) çıkışta gerçekleştiği görülmektedir. En düşük değişimin %0,9 olarak 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 2,4 mm kesme derinliğinden (1920 mm³ hacminden) 3,2 kesme derinliğine (2560 mm³ hacme) çıkışta meydana geldiği görülmektedir. Genel olarak kaldırılan talaş hacminin artmasıyla beraberinde yüzey pürüzlülük değerlerinde de artışlar meydana gelmiştir. Fakat 180 mm/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 1,6 mm talaş derinliğinde 1280 mm³ talaş hacminde ve 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 2,4 mm talaş derinliğinde 1920 mm³ talaş hacminde yüzey pürüzlülük değerlerinde ani yükselişler meydana gelmiştir. Bunun nedeni kesici takımın aşınmaya başladığı kısımlar olduğunu söyleyebiliriz. Daha sonra pürüzlülük değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise kesici takımda meydana gelen BUE'nin takıma baskı uygulaması ile pürüzlülüklerin düzleşmesi ile açıklanabilir.

SEM analizi yapılan kesici takımların yüzeylerinde meydana gelen yüzey aşınmalarının uzunlukları Şekil 6.8'deki gibi tayin edilerek ölçülmüştür.

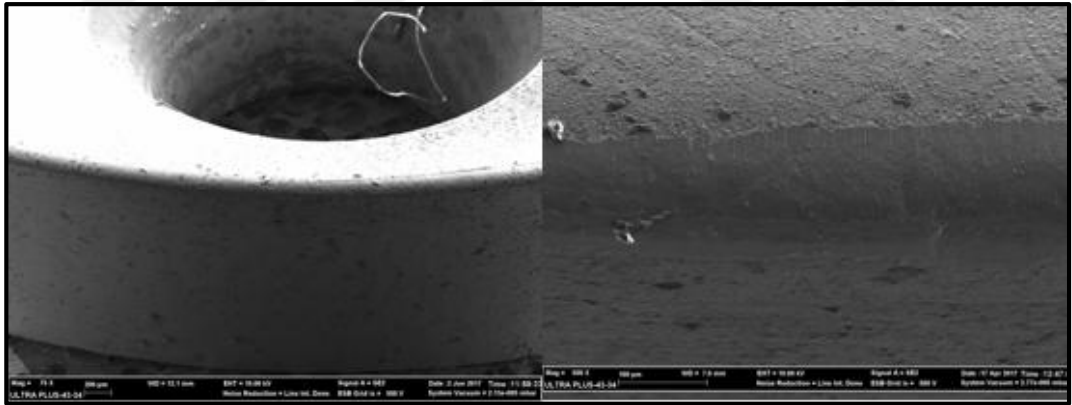


Şekil 6.8. Kesici takımda meydana gelen yüzey aşınmasının tayini.



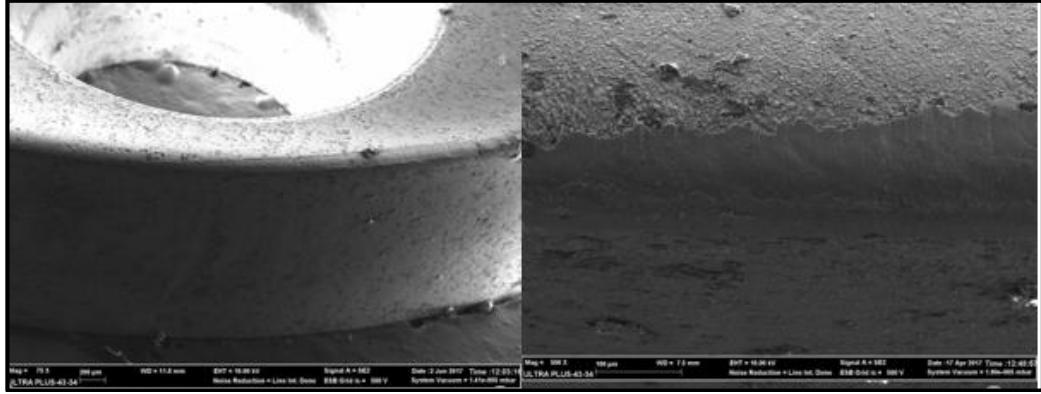
Şekil 6.9. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 320 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Aşınma deneyleri ilk olarak 0,4 mm kesme derinliğinde, 180m /dak kesme hızında, 0,4 mm/diş ilerleme miktarında ve kaldırılan talaş hacmi 320 mm³ olana kadar gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.9'daki aşınma fotoğrafı incelendiğinde aşınma miktarı 12,1 µm olarak ölçülmüştür.



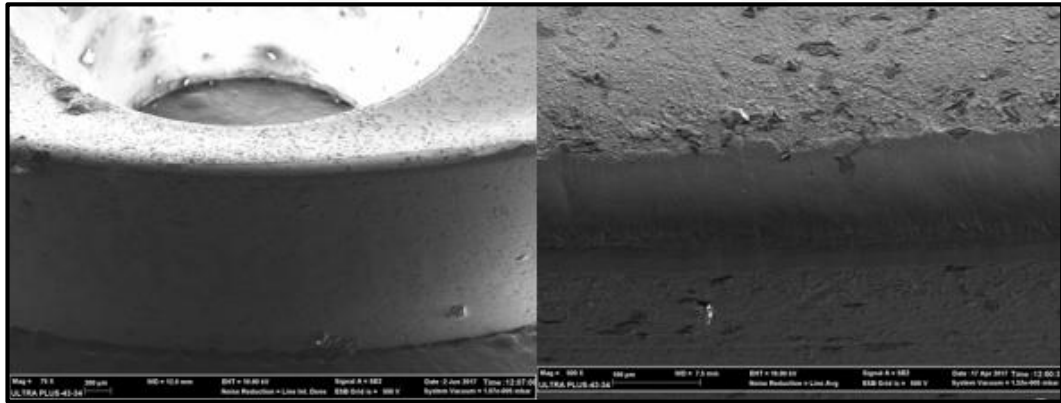
Şekil 6.10. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 1600 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,4 mm/diş, kesme derinliği 0,4 mm, kaldırılan talaş hacmi 1600 mm³ oluncaya dek ve 2 mm derinliğe ulaşana kadar 0,4 mm kesme derinliği artırılarak yapılan deney sonucunda meydana gelen aşınmanın görüntüsü Şekil 6.10'daki gibi oluşmuştur. Aşınma deneyi sonucunda meydana gelen yüzey aşınmasının uzunluğu 124,3 µm'dir.



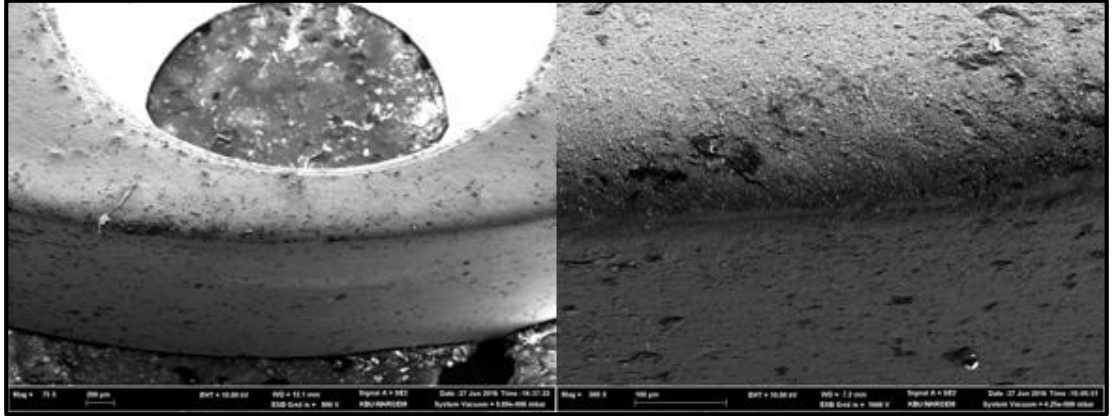
Şekil 6.11. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 3200 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,4 mm/diş, kesme derinliği 0,4 mm, kaldırılan talaş hacmi 3200 mm³ oluncaya dek ve 4 mm derinliğe ulaşana kadar 0,4 mm kesme derinliği artırılarak yapılan deney sonucunda meydana gelen aşınmanın görüntüsü Şekil 6.11'deki gibi oluşmuştur. Aşınma miktarı kesici takımın uç kısmından başlayarak yüzeyine doğru 87,8 µm uzunluğunda oluşmuştur.



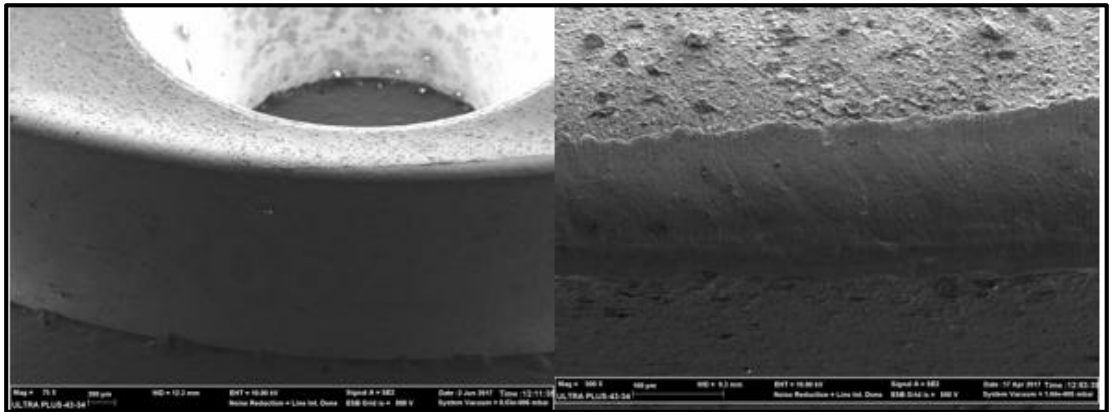
Şekil 6.12. 180 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 6400 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Şekil 6.12'deki aşınma görüntüsünün meydana gelmesinde kullanılan işleme parametreleri ise 180 m/dak kesme hızı, 0,4 mm/diş ilerleme miktarı ve kesme derinliği 8 mm oluncaya kadar her pasoda 0,4 mm kesme derinliği artırılarak, 6400 mm³ hacminde talaş kaldırılana kadar gerçekleştirilmiştir. Aşınma miktarı ise kesici takımın uç kısmından başlayarak yüzeyine doğru 113,4 µm uzunluğunda oluşmuştur.



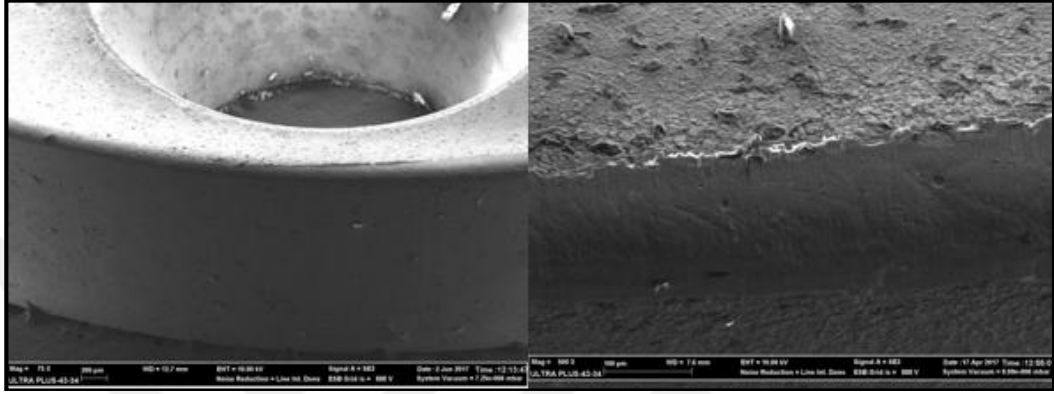
Şekil 6.13. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 320 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Aşınma deneylerinin ilki 180 m/dak sabit kesme hızında gerçekleştirilmiştir. İkinci ise 240 m/dak sabit kesme hızında gerçekleştirilmiştir. 0,4 mm kesme derinliğinde, 240m /dak kesme hızında, 0,4 mm/diş ilerleme miktarında ve kaldırılan talaş hacmi 320 mm³ olana kadar gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.13'teki aşınma görüntüsü incelendiğinde aşınma miktarının 12,1 µm olarak ölçülmüştür. Bu değer 180 m/dak kesme hızında, 0,4 mm/diş ilerleme miktarında, 0,4 mm kesme derinliği ve 320 mm³ hacminde talaş kaldırılması esnasında yapılan deney ile aynı olduğu görülmektedir. Buna kesici takımın bir özelliği olarak işleme başlangıcında aşınma miktarlarının aynı uzunlukta olmaktadır diyebiliriz.



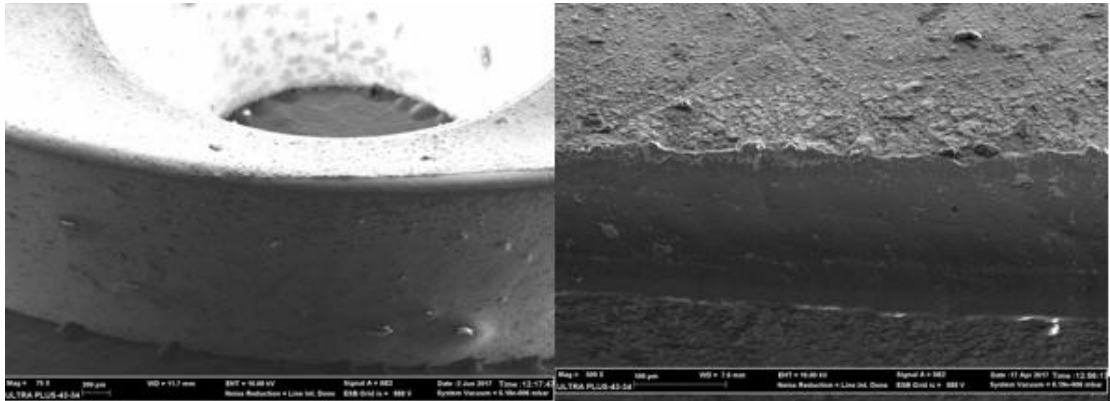
Şekil 6.14. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 1600 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımında meydana gelen aşınma görüntüsü.

Kesme hızı 240 m/dak, ilerleme miktarı 0,4 mm/diş, kesme derinliği 0,4 mm, kaldırılan talaş hacmi 1600 mm³ oluncaya dek ve 2 mm derinliğe ulaşana kadar 0,4 mm kesme derinliği arttırılarak yapılan deney sonucunda meydana gelen aşınmanın görüntüsü Şekil 6.14'deki gibi oluşmuştur. Aşınma miktarı kesici takımın uç kısmından başlayarak yüzeyine doğru 141,2 µm uzunluğunda oluşmuştur.



Şekil 6.15. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 3200 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımda meydana gelen aşınma görüntüsü.

Kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,4 mm/diş, kesme derinliği 0,4 mm, kaldırılan talaş hacmi 3200 mm³ oluncaya dek ve 4 mm derinliğe ulaşana kadar 0,4 mm kesme derinliği arttırılarak yapılan deney sonucunda meydana gelen aşınmanın görüntüsü Şekil 6.15'teki gibi oluşmuştur. Aşınma miktarı kesici takımın uç kısmından başlayarak yüzeyine doğru 145,8 µm uzunluğunda meydana gelmiştir.



Şekil 6.16. 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 6400 mm³ hacminde talaş kaldırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra kesici takımda meydana gelen aşınma görüntüsü.

Şekil 6.16'daki aşınma görüntüsünün meydana gelmesinde kullanılan işleme parametreleri ise 240 m/dak kesme hızı, 0,4 mm/diş ilerleme miktarı ve kesme derinliği 8 mm oluncaya kadar her pasoda 0,4 mm kesme derinliği arttırılarak, 6400 mm³ hacminde talaş kaldırılana kadar gerçekleştirilmiştir. Aşınma miktarı kesici takımın uç kısmından başlayarak yüzeyine doğru 137,8 µm uzunluğunda oluşmuştur.

Aşınma fotoğraflarında görüldüğü üzere genel olarak kaldırılan talaşın hacmi arttığında kesici takımda meydana gelen aşınma miktarları artmıştır. Fakat Şekil 6.14'te 240 m/dak kesme hızında 0,4 mm/diş ilerleme miktarında 3200 mm³ hacminde talaş kaldırılma işleminde bir sonraki kaldırılan talaş hacmine (6400 mm³) göredaha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bunun nedeni işlemin devam etmesiyle kesici takımın işlemeye alışması ve verimli bir hale gelmesiyle açıklanabilir.

Ayrıca şekillere bakıldığında kesme hızının düşük olması aşınma miktarının daha az oluşmasını sağlamıştır. Aşınma deneyleri sonucunda en düşük aşınma uzunluğunun 12,1µm olarak 180 m/dak ve 240 m/dak kesme hızlarının, 0,4 mm/diş ilerleme miktarında, 0,4 mm kesme derinliğinde ve 320 mm³ hacminde talaş kaldırılma esnasında oluşmuştur. En yüksek aşınma değeri ise 240 m/dak kesme hızında, 0,4 mm/diş ilerleme miktarında, 4 mm kesme derinliğinde ve her pasoda 0,4 mm talaş kaldırılarak 3200 mm³ talaş hacminde (145,8µm) oluşmuştur. En düşük aşınma uzunluğu (12,1 µm) ile en yüksek aşınma uzunluğu (145,8 µm) arasında %1100 değişim meydana gelmiştir.

Kesici takımlarda aşınma türünün tek bir çeşit olması ve bunun da yığıntı talaş (BUE) olması takım geometrisinin düzlemsel değil de eğimsel bir yapıya sahip olması ve kesici takıma gelen yüklerin bir alana değil de daha geniş alana yayılmasına olanak sağlayarak kesici takım yüzeyinde en alt seviye de basıncın meydana gelmesini sağlamıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Toolox 44 sıcak iş takım çeliğinin TiAlN kaplamalı sementit karbür kesici takım ile işlenmesi sırasında işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile ilgili şunlar söylenebilir;

- İlerleme miktarının ve talaş derinliğinin artmasıyla beraber kesme kuvvetlerinin de doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar literatür ile uyumlu olduğundan yapılan çalışmanın geçerli olduğunu göstermektedir.
- En düşük yüzey pürüzlülük değerinin (0,533 μm) kesme hızının 180 m/dak, 0,2 mm kesme derinliğinde ve ilerlemenin 0,4 mm/dev değerinde elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (2,806 μm) ise 180 m/dak kesme hızında, 0,2 mm kesme derinliğinde ve 1,6 mm/dev ilerleme miktarında gerçekleşmiştir.
- En düşük kesme kuvveti değeri (16,3N) ilerleme miktarının 0,4 mm/diş, kesme hızının 240 m/dak ve talaş derinliğinin 0,2 mm olduğu parametrelerde meydana gelmiştir. En yüksek kesme kuvveti değeri (410,7 N) ise ilerleme miktarının 1,6 mm/dev, kesme hızının 180 m/dak ve talaş derinliğinin 0,4 mm olduğu parametrelerde meydana gelmiştir.
- 0,2 mm talaş derinliğinde kesme hızının artması yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olurken, 0,4 mm talaş derinliğinde, talaş derinliği bağlı olarak ilerleme miktarının artması da yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olmuştur.
- Aşınma deneylerinde kesme hızının artmasıyla kesici takımda meydana gelen aşınma miktarlarında artış olduğu gözlenmiştir.
- En düşük aşınma miktarının 180m/dak kesme hızında 0,4 mm talaş derinliğinde 320 mm³ talaş hacminde (7,6 μm), en yüksek aşınma miktarının

ise 240 m/dak kesme hızında 2 mm talaş derinliğinde 1600 mm³ talaş hacminde (160,5 µm) olduğu gözlenmiştir.

- Aşınma başlangıcında yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlendi fakat aşınma oluşumundan sonra işlemeye devam edilmesinde yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.
- Aşınma deneylerinde meydana gelen aşınma çeşidinin ise kesici takım üzerinde tedrici olarak birikmesiyle oluşan yığıntı talaş oluşumudur.

7.2. ÖNERİLER

- Gerçekleştirilen deneyler sonucunda TOOLOX 44 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde KC522M kalitesinde kesici takım kullanılabilir.
- Bu çalışmada tek tip kesici takım kullanılmıştır. Daha kapsamlı araştırılma yapılabilmesi amacıyla kesici takım tipi çeşidi arttırılabilir.
- Çalışma da kullanılan TOOLOX 44 'ün ham olarak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Literatüre ışık tutması amacıyla iş parçası malzemesine çeşitli işlemler uygulanabilir.
- Çalışmada incelenen takım aşınması deneyleri 6400 mm³ talaş hacmine kadar gerçekleştirilmiştir. Bu değerler daha da arttırılarak takım ömrünün bulunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Goetsch, D. L., “Modern manufacturing process”, *Cengage Learning* (1991).
2. T.S. Lee, Y.J. Lin, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, 16,773–783 (2000).
3. Duran, A. ve Acır, A. “HSS torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 7: 3, 211-215 (2004).
4. Çiftçi, İ. “Talaşlı imalat ders notları”, *Teknoloji Fakültesi imalat Mühendisliği*, Karabük (2013).
5. P. Fabricio José, P. Anderson Paulo de, B. Pedro Paulo, F. João Roberto, S. Messias Borges da, *Expert Systems with Applications*, 39, 7776–7787 (2012).
6. Süzgünol M., ve Kayır Y., “DIN 1.2311 ve 1.2738 kalıp çeliklerinin işlenebilirliği”, *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 132-142 (2012).
7. Motorcu A. R., ve Şahim Y., “AISI 1040 çeliğinin farklı kaplamalı karbür ve sermet kasici takımlarla işlenebilirliği”, *Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Antalya, 30-42 (2004).
8. Şirin, E., “AISI D’ soğuk iş takım çeliğinin frezede işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-80 (2010).
9. Gökkaya, H., Habalı, H., ve Özçatalbaş, Y., “Kaplama malzemesinin takım-talaş arayüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 7 (1): 23-30 (2004).
10. Korkut, I., and Donertas, M. A., “The influence of feed rate and speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling”, *Materials and Design*, 28: 308-312 (2007).
11. Özkul İ., “Takım çeliği malzemelerinin geleneksel ve modern işleme yöntemleri ile işlenebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 35-104, (2012).
12. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin ısı ile işleme değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 167-175 (1996).
13. Paul D., and Dhar, M. R., “Beneficial effects of cryogenic cooling over dry and wet machining on tool wear and surface finish in turning AISI 1060 Steel”, *Journal of Material Processing Technology*, 166: 44-48 (2001).

14. Ulusoy, A., “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Kütahya, 29-46, (2008).
15. Yeyen, H. E., “AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin işlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Eğitimi, Ankara, 36-53, (2006).
16. Fu, H. J., Devor, R. E., and Kapoor, S. G., “A Mechanistic model for the prediction of the force system in face milling operations”, *ASME Journal of Engineering for Industry*, 106: 81-88 (1984).
17. Yaşar N., “Plastik kalıp çeliklerinin özgül kesme direncinin deneysel olarak araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Ankara, 28-73 (2011).
18. Koshy, P., Dewes, R. C., and Aspinwall, D. K., “High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 127: 266–273 (2002).
19. Neşeli, S., Taşdemir, Ş., and Yıldız, S., “prediction of surface roughness on turning with artificial neural network”, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, 22 (3): 68-73 (2009).
20. Uzun G., “Farklı ısıl işlemlerin Ç5140 çeliğin işlenebilirliğine etkisinin incelenmesi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Karabük, 29-51 (2008).
21. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri I”, *Gazi Kitabevi*, Ankara (2003).
22. Lin, W. S., Lee, B. Y., and Wu, C. L., “Modeling the surface roughness and cutting force for turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 108: 286 293 (2001).
23. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları”, *Birsen Yayın Evi*, İstanbul, 57-61 (1998).
24. Mendi, F., “Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları”, *TDFD Ltd. Sti Yayınları*, Ankara, 53-55 (1996).
25. Yeyen, H. E., “AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Ankara, 13 (2006).
26. Yontar, A. A., “AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 16 (2011).
27. Yontar, A. A., “AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 17 (2011).

28. Yeyen, H. E., "AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması" *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Ankara, 19-20 (2006).
29. Yaşar, N., "Plastik kalıp çeliklerinin özgül kesme direncinin deneysel olarak araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi, Ankara, 16 (2011).
30. Sürücü, S., "Tornalamada kesme parametrelerindeki değişime göre kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirme", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-4 (2010).
31. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1, 78 (1999).
32. Akkurt M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları", Birsen Yayın Evi, İstanbul, 31-33, (1998).
33. Ezugwu, E. O., "Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (12-13): 1353-1367 (2005).
34. DeGarmo, E. P., Black, J. T. and Kohser, R. A., "Materials and Processes in Manufacturing", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 214-652 (1997).
35. Elieyioğlu, S., "Çeliklerin ısıtma işlemi altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskobu (sem) ve mössbauer spektroskopisi ile incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 18-20 (2005).
36. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 1, 185 (1999).
37. Çoğun, C. ve Özses, B. "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17 (1): 59-75 (2002).
38. Tekaüt, İ., "Takım tezgahlarındaki kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).
39. Korucu, S., "Hidrolik kopya aparatı yardımı ile elde edilen parçalarda yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1996).
40. Özses, B., "Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara (2002).

41. Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü**, Ankara (2002).
42. Gadelmavla, E. S. and Koura, M. M., “Roughness Parameter”, **Journal of Material Processing Technology**, 123: 133-145 (2002).
43. Işık, Y. ve Çakır, M., C., “Hız çeliği takımlar için kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin deneysel olarak incelenmesi”, **Teknoloji**, Sayı 1-2, 111-118 (2001).
44. Kandemir, K., Özdemir, A., “Seramik kesici uçlarla Tornalamada Taşalama Kalitesinde Yüzey Elde Edilme Şartları”, **Teknoloji**, s.125(1999).
45. Arascelik, “Plastik Toolox 44”, http://www.arascelik.com.tr/plastik_toolox44.html (2017).
46. Persson, U. and Chandrasekaran, H., “Machinability of martensitic steels in milling and the role of hardness”, **6th International Tooling Conference** (2012).
47. Kennametal, “Kennametal Kesici Takım Kataloğu”, **Kennametal** , Ankara (2013).
48. Kavak, N. and Üstel, N., “The Investigation of Surface Roughness on AISI 1040 Steel with Dry Turning”, **Karalmas Science and Engineering Journal**, 2 (2), 24-29 (2012).
49. Kılıçkap, E. ve Çelik, Y. H., “Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi”, **3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu**, Ankara 04-05 (2012).
50. Çakır, M. C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, **Vipaş A.Ş.**, Bursa, 350-390 (2000).
51. Özçatalbaş, Y. ve Ercan, F., “The effects of heat treatment on the machinability of mild steels”, **Journal of Materials Processing Technology**, 136: 227–238 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Rüstem BİNALİ 1990 yılında Rusya’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. Yıldırım Beyazıt Lisesi Fen Bilimleri Bölümü’nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2014 yılında mezun oldu. 2014-2015 güz döneminde Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2016-2017 bahar döneminde tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (538) 243 3885
E-posta : rstmbinali@gmail.com