

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK TALAŞ KALDIRMA PERFORMANSI SAĞLAYAN DÖNEN YUVARLAK  
UÇLU TORNALAMA TAKIMININ GELİŞTİRİLMESİ**

**UĞUR EMİROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. ERHAN ALTAN**

**İSTANBUL, 2015**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK TALAŞ KALDIRMA PERFORMANSI SAĞLAYAN DÖNEN YUVARLAK UÇLU  
TORNALAMA TAKIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Uğur EMİROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Erhan ALTAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Erhan ALTAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan ÇAKIR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa BAKKAL  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nun 113M168 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Yüksek lisans çalışmamda maddi ve manevi her türlü olanağı sağlayarak beni her zaman destekleyen, bilgilerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen değerli büyüğüm ve Hocam, Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisans çalışmam boyunca emeği geçen Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat KIYAK'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmama katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Orhan ÇAKIR'a, Sayın Doç. Dr. Mihriğül ALTAN'a ve Sayın Arş. Gör. Dr. Alper UYSAL'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini hiç esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Temmuz, 2015

Uğur EMİROĞLU

## İÇİNDEKİLER

---

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SİMGE LİSTESİ.....                                                                      | vii |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                                                   | ix  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                      | x   |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                   | xii |
| ÖZET .....                                                                              | xiv |
| ABSTRACT.....                                                                           | xvi |
| BÖLÜM 1                                                                                 |     |
| GİRİŞ.....                                                                              | 1   |
| 1.1    Literatür Özeti .....                                                            | 5   |
| 1.2    Tezin Amacı .....                                                                | 13  |
| 1.3    Hipotez .....                                                                    | 14  |
| BÖLÜM 2                                                                                 |     |
| TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME VE TAKIM .....                                                    | 16  |
| 2.1    Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanığı.....                                    | 16  |
| 2.2    Tornalama .....                                                                  | 19  |
| 2.2.1    İşleme Parametreleri .....                                                     | 20  |
| 2.2.1.1    Kesme hızı .....                                                             | 20  |
| 2.2.1.2    İlerleme Hızı .....                                                          | 21  |
| 2.2.1.3    Kesme Derinliği .....                                                        | 21  |
| 2.2.2    Takım Geometrisi .....                                                         | 22  |
| 2.2.2.1    Takımın Kesici Kısımındaki Açıların Saptanması İçin Referans Sistemler ..... | 23  |
| 2.2.3    Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri .....                                     | 25  |
| BÖLÜM 3                                                                                 |     |
| DÖNEN YUVARLAK UÇLU KESİCİ TAKIMLAR .....                                               | 27  |

|                                                   |                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Takımların Genel İlkeleri ve Sağladığı Yararlar .....                                   | 27         |
| 3.2                                               | Geometri .....                                                                                              | 31         |
| 3.3                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Takımların Sınıflandırılması .....                                                      | 31         |
| 3.4                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Takımın Ömrünü Etkileyen Faktörler .....                                                | 34         |
| 3.4.1                                             | Takım Dönme Hareketi .....                                                                                  | 34         |
| 3.4.2                                             | Takım Geometrisi .....                                                                                      | 34         |
| 3.4.3                                             | Takım Yatak Sistemi .....                                                                                   | 35         |
| 3.4.4                                             | Takım Aşınma Mekanizmaları .....                                                                            | 35         |
| 3.5                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Talaş Kaldırmada Uygulaması.....                                      | 35         |
| 3.6                                               | Yüzey Kalitesi .....                                                                                        | 37         |
| 3.7                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Talaşlı İşlemeye Ait Sorunlar .....                                             | 37         |
| 3.8                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Takımların Yapısı.....                                                                  | 38         |
| 3.9                                               | Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Kinematikliği.....                                                    | 39         |
| 3.9.1                                             | Sürücü Tahrikli Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Oblig Kesme Prosesi .                                           | 42         |
| 3.9.2                                             | Sürücü Tahrikli Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Ortogonal Kesme<br>Prosesi                                      | 44         |
| 3.9.3                                             | Kendinden Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Oblig Kesme Prosesi .....                                             | 45         |
| 3.10                                              | Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımlarda Temel Kesme Mekanikliği .....                                         | 45         |
| 3.10.1                                            | Sürücü Tahrikli Oblig Dönen Takım Kesme Mekanikliği .....                                                   | 46         |
| 3.10.2                                            | Sürücü Tahrikli Ortogonal Dönen Takım Kesme Mekanikliği .....                                               | 51         |
| 3.10.3                                            | Kendinden Dönen Oblig Kesen Takımın Kesme Mekanikliği .....                                                 | 55         |
| 3.11                                              | Kendinden Dönen Yuvarlak Uçlu Takımlarla Yapılan Önceki Çalışmalar ..                                       | 58         |
| 3.12                                              | Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Kullanıldığı Alanlar .....                                            | 72         |
| <b>BÖLÜM 4</b>                                    |                                                                                                             |            |
| <b>TAKIM TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b> |                                                                                                             | <b>74</b>  |
| 4.1                                               | Giriş .....                                                                                                 | 74         |
| 4.2                                               | Takım Tasarımı ve Kullanılan Kesici Yuvarlak Uç.....                                                        | 74         |
| 4.3                                               | Tasarlanan Takımın Mukavemet Kontrolleri .....                                                              | 79         |
| 4.3.1                                             | Takım Sapı Kesit Mukavemet Kontrolü .....                                                                   | 79         |
| 4.3.2                                             | Başlık Çektirme Cıvatası Mukavemet Kontrolü .....                                                           | 80         |
| 4.3.3                                             | Mil Mukavemet Kontrolü .....                                                                                | 81         |
| 4.4                                               | Geliştirilen Tornalama Takımının Ansys Sonlu Elemanlar Programı ile<br>Analizinin Yapılması ve İmalatı..... | 82         |
| 4.5                                               | İş parçası .....                                                                                            | 85         |
| 4.6                                               | Deneylerde Kullanılan Yardımcı Ekipmanlar ve Cihazlar .....                                                 | 87         |
| 4.7                                               | Ön Deneyler .....                                                                                           | 91         |
| 4.8                                               | Deney Şartları ve Uygulanması .....                                                                         | 92         |
| 4.9                                               | Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar .....                                                                      | 94         |
| 4.9.1                                             | Sonuçların Taguchi Yöntemiyle Değerlendirilmesi.....                                                        | 97         |
| 4.9.2                                             | Talaş Hacmi ve Kesme Kuvveti .....                                                                          | 102        |
| 4.9.3                                             | Dönen Yuvarlak Uçlu Takım ile İşleme Sonrası Talaşın Kırılmasının<br>İncelenmesi .....                      | 104        |
| <b>BÖLÜM 5</b>                                    |                                                                                                             |            |
| <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                    |                                                                                                             | <b>108</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                             |                                                                                                             | <b>116</b> |

## SİMGE LİSTESİ

---

|            |                                                                                  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $B, B_c$   | Armarego için dönen yuvarlak uçlu takım ile işleme iş parçası ve talaş genişliği |
| $b$        | Talaş ve kesme genişliği                                                         |
| $f$        | İlerleme miktarı                                                                 |
| $F$        | Talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti                                               |
| $F_c$      | Kesme kuvveti                                                                    |
| $F_f$      | İlerleme kuvveti                                                                 |
| $F_p$      | V yönünde kesme kuvveti bileşeni                                                 |
| $F_Q$      | $F_p$ 'ye dik $P_n$ 'de kesme kuvveti bileşeni                                   |
| $F_r$      | Radial kuvvet                                                                    |
| $F_R$      | $F_p$ ve $F_Q$ 'ya dik kesme kuvveti bileşeni                                    |
| $F_s$      | Kayma düzlemindeki kayma kuvveti                                                 |
| $F_{Pt}$   | V yönünde toplam kesme kuvveti bileşeni                                          |
| $F_{Qt}$   | $F_p$ 'ye dik $P_n$ 'de toplam kesme kuvveti bileşeni                            |
| $F_{Rt}$   | $F_p$ ve $F_Q$ 'ya dik toplam kesme kuvveti bileşeni                             |
| $i$        | V ve $P_n$ arasındaki eğim açısı                                                 |
| $i_s$      | W ve $P_n$ arasındaki statik eğim açısı                                          |
| $K_{1p}$   | $F_p$ yönünde birim genişlik başına uç kuvveti                                   |
| $K_{1Q}$   | $F_Q$ yönünde birim genişlik başına uç kuvveti                                   |
| $K_{1R}$   | $F_R$ yönünde birim genişlik başına uç kuvveti                                   |
| $K_R$      | Takım ömründeki yüzdesel artış                                                   |
| $l, l_c$   | Sırasıyla iş parçası ve talaş uzunluğu                                           |
| $l_f$      | Takım talaş temas uzunluğu                                                       |
| $NR$       | Uç yarıçapı                                                                      |
| $N_t$      | Kesici takımın dönüş hızı                                                        |
| $N_w$      | İş parçasının dönüş hızı                                                         |
| $P_n$      | Kesme kenarına dik normal düzlem                                                 |
| $r_b, r_t$ | Talaş genişliği ve talaş kalınlığı oranı                                         |
| $r_l$      | Mutlak talaş uzunluğu oranı                                                      |
| $r_{lr}$   | Bağıl talaş uzunluğu oranı                                                       |
| $t$        | Deformasyona uğramamış talaş kalınlığı                                           |
| $t_c$      | Deformasyona uğramış talaş kalınlığı                                             |
| $V$        | Bileşke veya bağıl kesme hızı                                                    |

|                  |                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------|
| $V_c$            | Mutlak talaş hızı                                 |
| $V_{cr}$         | Bağıl talaş hızı                                  |
| $V_f$            | İlerleme hızı                                     |
| $V_r$            | Dönen yuvarlak ucun çevresel hızı                 |
| $V_s$            | Dönen yuvarlak ucun kayma düzlemindeki hızı       |
| $V_w$            | Mutlak iş parçası veya kesme hızı                 |
| $\alpha_n$       | $P_n$ düzlemindeki serbest açı normali            |
| $\beta, \beta_n$ | Sürtünme açısı ve $P_n$ 'de normal sürtünme       |
| $\eta_c$         | $V_{cr}$ ve $P_n$ arasında bağıl talaş akış açısı |
| $\eta_c'$        | $F$ ve $P_n$ arasında sürtünme kuvveti açısı      |
| $\eta_s$         | $V_s$ ve $P_n$ arasında kayma akış açısı          |
| $\eta_s'$        | $F_s$ ve $P_n$ arasında kayma kuvveti açısı       |
| $\phi_n$         | $P_n$ düzlemindeki normal kayma açısı             |
| $\psi$           | $V_c$ ve $P_n$ arasındaki mutlak talaş akış açısı |
| $\Omega$         | İzdüşümü mutlak talaş akış açısı                  |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|      |                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|
| AISI | American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)         |
| Al   | Aluminyum                                                                     |
| C    | Karbon                                                                        |
| Cr   | Krom                                                                          |
| Cu   | Bakır                                                                         |
| CNC  | Computer Numerical Control                                                    |
| °C   | Celsius                                                                       |
| DIN  | Alman Standartlar Enstitüsü                                                   |
| °F   | Fahrenheit                                                                    |
| HRC  | Rockwell Sertliği                                                             |
| ISO  | International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Örgütü) |
| Mn   | Mangan                                                                        |
| Mo   | Molibden                                                                      |
| Nb   | Niobyum                                                                       |
| P    | Fosfor                                                                        |
| PCBN | Polycrystalline Cubic Boron Nitride                                           |
| SAE  | Society of Automotive Engineers (Amerikan Otomotiv Mühendisliği Birliği)      |
| S    | Kükürt                                                                        |
| Si   | Silisyum                                                                      |
| Sn   | Kalay                                                                         |
| S/N  | Sinyal/Gürültü, db                                                            |
| SiC  | Silisyum Karbür                                                               |
| TiN  | Titanyum Nitrür                                                               |
| V    | Vanadyum                                                                      |

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

|            |                                                                                                                                      |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1  | Kesici takımların üç temel tipi a)Ortogonal (dik) b)Oblig (eğik) c)Dilimleme hareketi yapan takım [2] .....                          | 2  |
| Şekil 1.2  | Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın şematik olarak gösterimi [3] .....                                                             | 3  |
| Şekil 1.3  | Döner yuvarlak uçlu takım çeşitleri a)Kendinden döner takım b)Dışardan sürücü tahrikli döner takım [4].....                          | 4  |
| Şekil 2.1  | a)Ortogonal ve b) Oblig kesme [51] .....                                                                                             | 17 |
| Şekil 2.2  | Ortogonal kesme modeli: a)Üç boyutlu b)İki boyutlu görünüş.....                                                                      | 19 |
| Şekil 2.3  | İşlenen parçadaki deformasyonu gösteren talaş oluşumu [50] .....                                                                     | 19 |
| Şekil 2.4  | Talaş tipleri a)sürekli b)yapışık c)kesintili talaş tipi [48] .....                                                                  | 19 |
| Şekil 2.5  | Tornalama işlemleri a)Boyuna b)Alın c)İç d)Fatura veya kesme e)Konik f)Vida[48] .....                                                | 20 |
| Şekil 2.6  | Tornalamada kesme hızı ve devir sayısı [52] .....                                                                                    | 21 |
| Şekil 2.7  | Torna kalemi [48] .....                                                                                                              | 22 |
| Şekil 2.8  | Takım geometrisini tayin eden düzlemler [48] .....                                                                                   | 23 |
| Şekil 2.9  | Torna kaleminin takım referans sistemine göre açıları [48] .....                                                                     | 24 |
| Şekil 2.10 | Tornalama da kesme kuvvetleri [50] .....                                                                                             | 26 |
| Şekil 3.1  | Döner kesmenin prensibi [9] .....                                                                                                    | 28 |
| Şekil 3.2  | IMI318 malzemenin işlenmesinde kesme hızının bir fonksiyonu olarak takım ömrü [24] .....                                             | 29 |
| Şekil 3.3  | Kesme sıcaklıkları [54].....                                                                                                         | 30 |
| Şekil 3.4  | Döner takım ile işleme sonrası Inconel 718 mikroyapısı ( $V=50\text{m/dak}$ , $f=0.25\text{mm/dev}$ , $a=0.25\text{mm}$ ) [54] ..... | 30 |
| Şekil 3.5  | Farklı oryantasyonlarda döner yuvarlak uçlu takım tipleri [51].....                                                                  | 31 |
| Şekil 3.6  | Döner yuvarlak uçlu takımın çalışma prensibi a)Ortogonal b)Oblig kesme                                                               | 32 |
| Şekil 3.7  | Tip 1 döner kesici takım a)Pozitif eğim açısı b)Negatif eğim açısı [51] .....                                                        | 33 |
| Şekil 3.8  | Tip 2 döner takım a)Pozitif eğim açısı b)Negatif eğim açısı [51] .....                                                               | 33 |
| Şekil 3.9  | Kesme Sıcaklıkları [54] .....                                                                                                        | 37 |
| Şekil 3.10 | Kendinden döner yuvarlak uçlu takım [54].....                                                                                        | 39 |
| Şekil 3.11 | Sabit bir noktadan gözlemlenen döner kesici ucun kesme prosesi a)Uzayda b)Takım üzerinde [10] .....                                  | 40 |
| Şekil 3.12 | Takımın merkezde olduğu sürücü tahrikli ortogonal döner takım kesme prosesi [10].....                                                | 41 |

|            |                                                                                                               |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.13 | Takımın üstte(a) veya altta(b) olduğu sürücü veya kendinden dönen takım prosesi [10].....                     | 41 |
| Şekil 3.14 | Kendinden dönen uçlu takımlarda oblig kesme [10].....                                                         | 42 |
| Şekil 3.15 | Sürücü tahrikli oblig dönen takım ve eşdeğer klasik oblig işlem [10].....                                     | 43 |
| Şekil 3.16 | Sürücü tahrikli ortogonal işlem ve eşdeğeri klasik ortogonal işlem [10].....                                  | 44 |
| Şekil 3.17 | Sürücü tahrikli oblig dönen takım kesme modeli(deformasyon ve hızlar) .                                       | 47 |
| Şekil 3.18 | Sürücü tahrikli oblig dönen takım kesme modeli(deformasyon ve kuvvetler) [10] .....                           | 48 |
| Şekil 3.19 | Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım kesme modelinde deformasyon ve hızlar [13] .....                        | 52 |
| Şekil 3.20 | Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım kesme modelinde deformasyon ve kuvvetler [13] .....                     | 53 |
| Şekil 3.21 | Kendinden dönen oblig kesen takım kesme modeli [13] .....                                                     | 56 |
| Şekil 3.22 | S.S. Joshinin dönen yuvarlak uçlu takım tasarımı [17].....                                                    | 58 |
| Şekil 3.23 | Serbest yüzey aşınması a(10 saniye sonra)- b(50 saniye sonra) [17] .....                                      | 59 |
| Şekil 3.24 | Kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım(1-yuvarlak uç, 2-mil, 3-tutucu) [9] ..                                   | 60 |
| Şekil 3.25 | Eğim açısının takım ömrüne etkisi [9].....                                                                    | 60 |
| Şekil 3.26 | İlerleme ve kesme derinliğinin takım ömrüne etkisi [9] .....                                                  | 61 |
| Şekil 3.27 | Eğim açısı, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [9] .....                                    | 61 |
| Şekil 3.28 | Kesme kuvvetleri [9] .....                                                                                    | 62 |
| Şekil 3.29 | Eğim açısının etkisi [23] .....                                                                               | 62 |
| Şekil 3.30 | Farklı dönen uçlu takımlarda takım aşınması [23].....                                                         | 63 |
| Şekil 3.31 | Kesme sıcaklıkları [28].....                                                                                  | 64 |
| Şekil 3.32 | Takım aşınması a-Sabit takım (birkaç saniye sonra)- b-Dönen takım (takım ömrünün sonuna kadar) [26] .....     | 65 |
| Şekil 3.33 | Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım için kesmenin şematik modeli [44]                                         | 65 |
| Şekil 3.34 | İşlenmiş yüzeyler a)Uçtan kaynaklanan b)Takım titreşim izleri c)Yapışmış talaşlar d)Pürüzsüz yüzey [44] ..... | 66 |
| Şekil 3.35 | Kesme hızı, ilerleme ve eğim açısının kendinden dönen takımların performansına etkileri[24] .....             | 68 |
| Şekil 3.36 | Takım aşınma karakteristikleri $V=105\text{m/dak}$ , $f=0,3\text{mm/dev}$ , $a=0,2\text{mm}$ [26]             | 70 |
| Şekil 3.37 | Waspaloy işlenmesinde kesme kuvvetleri $v=60\text{m/dak}$ , $f=0.127$ , $d=0.25$ ....                         | 70 |
| Şekil 3.38 | Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile bağli talaş akış açıları [31] .....                                   | 71 |
| Şekil 3.39 | Deneylerde kullanılan dönen takım [42] .....                                                                  | 71 |
| Şekil 3.40 | Boehlerit kabuk soymada kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım[55] .....                                        | 73 |
| Şekil 3.41 | Company Pramet firmasının tren tekerleklerinin işlenmesinde kullandığı dönen yuvarlak uçlu takım[56] .....    | 73 |
| Şekil 4.1  | RCMX3209MO yuvarlak kesici ucun görünüşü .....                                                                | 75 |
| Şekil 4.2  | Deneylerde kullanılan RCMX3209MO yuvarlak kesici uç .....                                                     | 75 |
| Şekil 4.3  | Tasarlanan takımın kater kısmı imalat resmi .....                                                             | 76 |
| Şekil 4.4  | Tasarlanan takımın başlık kısmı imalat resmi .....                                                            | 77 |
| Şekil 4.5  | Tasarlanan milin imalat resmi.....                                                                            | 77 |
| Şekil 4.6  | Yeniden tasarlanan milin imalat resmi ve mil.....                                                             | 78 |
| Şekil 4.7  | Deneylerde kullanılan kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın modellenmiş şekli .....                           | 78 |
| Şekil 4.8  | Talaş kaldırma esnasında takıma gelen kuvvetler .....                                                         | 79 |

|            |                                                                          |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.9  | Takım sapına gelen kuvvetler.....                                        | 79  |
| Şekil 4.10 | Başlık bağlantısına gelen kuvvetler.....                                 | 80  |
| Şekil 4.11 | Kesici yuvarlak ucu taşıyanmile gelen kuvvetler .....                    | 81  |
| Şekil 4.12 | Takımın ön kısmında statik gerilme anaizi.....                           | 83  |
| Şekil 4.13 | Takımın arka kısmında statik gerilme analizi.....                        | 83  |
| Şekil 4.14 | Takımın ön kısmında toplam deformasyon.....                              | 84  |
| Şekil 4.15 | Takımın arka kısmında toplma deforasyon.....                             | 84  |
| Şekil 4.16 | Takımsaş firması desteği ile imal edilen dönen yuvarlak uçlu takım.....  | 85  |
| Şekil 4.17 | Deneylerde kullanılan iş parçaları.....                                  | 86  |
| Şekil 4.18 | Kullanılacak iş parçalarının deney için hazırlanmış durumu .....         | 86  |
| Şekil 4.19 | Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı .....                            | 87  |
| Şekil 4.20 | Kistler 5233A model kontrol ünitesi .....                                | 88  |
| Şekil 4.21 | Dinamometrenin kullanımına ait setin şematik görünüşü .....              | 88  |
| Şekil 4.22 | Dinamometre kontrol ünitesi .....                                        | 89  |
| Şekil 4.23 | Ölçümlerde kullanılan Mitutoyo marka SJ-210 model pürüzlülük cihazı .... | 89  |
| Şekil 4.24 | CNC torna tezgahında deney düzeneğinin görünüşü .....                    | 90  |
| Şekil 4.25 | Ön deneyde elde edilen kesme kuvvetleri .....                            | 91  |
| Şekil 4.26 | 1040 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi .....                | 97  |
| Şekil 4.27 | 1.2738 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi .....              | 98  |
| Şekil 4.28 | 1.2343 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi .....              | 99  |
| Şekil 4.29 | 1040 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi.....        | 100 |
| Şekil 4.30 | 1.2738 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi .....     | 100 |
| Şekil 4.31 | 1.2343 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi .....     | 101 |
| Şekil 4.32 | 1040 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi .....              | 102 |
| Şekil 4.33 | 1.2738 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi.....             | 102 |
| Şekil 4.34 | 1.2343 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi.....             | 103 |
| Şekil 4.35 | 1040 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi.....               | 103 |
| Şekil 4.36 | 1.2738 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi.....             | 104 |
| Şekil 4.37 | 1.2343 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi.....             | 104 |
| Şekil 4.38 | 1040 iş parçasından 1.deney şartı için kırılan talaşlar .....            | 105 |
| Şekil 4.39 | 1040 iş parçasından 1.deney şartı için kırılan talaşlar .....            | 105 |
| Şekil 4.40 | 1.2738 iş parçasından 1.deney şartı için kırılan talaşlar .....          | 105 |
| Şekil 4.41 | 1.2738 iş parçasından 3.deney şartı için kırılan talaşlar .....          | 106 |
| Şekil 4.42 | 1.2343 iş parçasından 1.deney şartı için kırılan talaşlar .....          | 106 |
| Şekil 4.43 | 1.2343 iş parçasından 3.deney şartı için kırılan talaşlar .....          | 107 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                         | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1 Kendinden tahrikli dönen kesici takımın yapısı.....                         | 39    |
| Çizelge 3.2 Ortalama kuvvet ve ortalama talaş boyutları.....                            | 64    |
| Çizelge 4.1 AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi.....                                  | 85    |
| Çizelge 4.2 1.2343(X38CrMoV51) sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi.....          | 85    |
| Çizelge 4.3 1.2738(40CrMnNiMo8-6-4) plastik kalıp çeliğinin kimyasal bileşimi.....      | 85    |
| Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....                              | 92    |
| Çizelge 4.5 Taguchi L9 deney tasarımı.....                                              | 94    |
| Çizelge 4.6 AISI 1040 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler.....                  | 95    |
| Çizelge 4.7 1.2738 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler.....                     | 95    |
| Çizelge 4.8 1.2343 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler.....                     | 96    |
| Çizelge 4.9 İş parçası malzemelerinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük .....          | 96    |
| Çizelge 4.10 AISI 1040 iş parçası kesme kuvveti için sinyal gürültü cevap tablosu.....  | 97    |
| Çizelge 4.11 1.2738 iş parçası kesme kuvveti için sinyal gürültü cevap tablosu.....     | 98    |
| Çizelge 4.12 1.2343 iş parçası kesme kuvveti için sinyal/gürültü cevap tablosu.....     | 98    |
| Çizelge 4.13 1040 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu.....   | 99    |
| Çizelge 4.14 1.2738 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu..... | 100   |
| Çizelge 4.15 1.2343 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu..... | 101   |

## **YÜKSEK TALAŞ KALDIRMA PERFORMANSI SAĞLAYAN DÖNEN YUVARLAK UÇLU TORNALAMA TAKIMININ GELİŞTİRİLMESİ**

Uğur EMİROĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Talaşlı imalat işlemlerinde, özellikle sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında ve titanyum ve nikel bazlı alaşımların işlenmesinde takım, işlenen parça ve meydana gelen talaşın birbirleri ile etkileşimlerinden dolayı oluşan mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Bunun sonucu olarak da takımda sıcaklık artar ve takım aşınması oluşur. Takımda oluşan aşınma hem takımın ömrüne hem de işlenmiş parça yüzeyinin kalitesine olumsuz etki etmektedir.

Kesici takımdaki bu sıcaklık artışını azaltabilmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvılarının kullanımının bir sebebi de takımda meydana gelen bu sıcaklık artışını azaltmaktır. Kesme sıvıları bazı durumlarda takım-talaş ara yüzeyine nüfus edememektedir. Ayrıca kesme sıvılarının kullanımı, çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı da azalmaktadır.

Bir diğer çözüm yöntemi olarak, talaş kaldırma işlemi sırasında talaş ile takımın temas bölgesindeki kesici ağzın sürekli olarak değişimi ile takım kesici kenarının doğal olarak soğuması düşünülmüştür. Bu sayede sürekli kesme için takım-talaş temas bölgesi sürekli değişen kendi eksen etrafında dönen takma uçlu plaketer veya dairesel profilli dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu takımlar sayesinde takım aşınmalarının azaldığı ve takım ömrünün arttığı gözlemlenmiştir.

Dönen yuvarlak uçlu kesici takımlar birçok fayda sağlamaktadır. Bu takımlar sayesinde takım ömründe artış meydana gelmekte, düşük kesme sıcaklıkları elde edilmektedir.

Bu takımlar kullanılarak talaşlı işlenmesi zor olan malzemelerin işlenebilmeleri de kolaylaşmıştır. İşleme sırasında yüksek talaş kaldırma oranları elde edilebilmektedir.

Dönen yuvarlak uçlu takım kesme prosesinin daha iyi anlaşılması, takım geometrisi ve kesme parametrelerinin seçilmesinde fayda sağlayacak ve imalat endüstrisindeki verimlilik gelişmelerine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle talaşlı imalat ve kesici takım hakkında kısaca bilgi verilmiş, akabinde dönen yuvarlak uçlu kesici takımların genel prensipleri, sağladığı faydalar, mekaniği, uygulama alanları hakkında bilgiler verilmiş ve bu çalışmanın da konusu olan kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir. Öncelikle kendinden dönen yuvarlak uçlu takım tasarlanmıştır. Tasarlanan takımın Ansys sonlu elemanlar programı ile gerilme ve deformasyon analizi yapılarak, takımın performansı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda takım mukavemetinin öngörülen talaş kaldırma şartları için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek performans sağlayan takım tasarımı uygun görüldükten sonra, kesici takım Takımsaş firmasında imal ettirilmiştir. CNC torna tezgahında, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve eğim açısı parametreleri kullanılarak üç farklı iş parçası için kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kesme parametreleri Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre belirlenmiş, Taguchi yöntemiyle kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için hangi parametrelerin etkin olduğu bulunmuştur. Talaş hacmi ile kesme kuvveti arasındaki ilişki incelenmiştir. Talaş hacmi ile kesme kuvvetinin benzer karakter gösterdiği gözlemlenmiştir. Üç farklı iş parçası için talaşın kırılması incelenmiştir. Talaş kırılması dönen yuvarlak uçlu takım ile, kabul edilebilir talaşlar şeklinde kırıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çeşitli malzemelerin işlenmesinde, geliştirilen kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın literatürde görülen benzer takımlara göre daha yüksek performans gösterip, daha fazla kesme derinlikleri uygulanarak talaş kaldırma işlemleri için de uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tornalama, dönen yuvarlak uçlu takım, Ansys

**DEVELOPMENT OF SELF-PROPELLED ROTARY TURNING TOOL FOR HIGH  
PERFORMANCE MACHINING (MATERIAL REMOVAL)**

Uğur EMİROĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Erhan ALTAN

In machining (material removal) processes, cutting tool, workpiece and occurred chip are interacted converting mechanical energy into thermal energy especially in turning of hardened steels, titanium and nickel-based alloys. As a result of this, heat on cutting tool increases and tool wear occurs. Wear on cutting tool adversely affects tool life as well as machined surface quality.

Different methods have been used to minimize the decrease of heat generation on cutting tool. The application of cutting fluids has another reason to decrease heat generation. In some cases, cutting fluids cannot penetrate into cutting tool-chip interface. Moreover, the usage of cutting fluids decreases due to adverse effect on environment and human health.

As another solution method, it was considered to cool cutting edge of cutting tool naturally by continuous changing of cutting edge in contact region between cutting tool and chip during machining (material removal) operation. This allows the application of self-propelled rotary tips or circular-profiled rotary rounded cutting tools are started for continuous cutting. It has been observed that tool wears are reduced and tool life is increased by these cutting tools.

Self-propelled rotary cutting tools provide various benefits. These cutting tools provide an increase tool life and obtaining lower cutting temperatures.

These cutting tools have also facilitated the machining of difficult-to-cut materials. Higher material removal rates can be achieved during machining (material removal) operations.

A better understanding of cutting process in self-propelled rotary rounded cutting tools will provide benefits of selecting tool geometry and machining parameters, and contribute to the productivity improvements in manufacturing industry.

In this study, brief information about machining (material removal) and cutting tool is firstly presented, and then general principles of self-propelled rotary rounded cutting tools, benefits (advantages) mechanics, application areas have been provided, and previous studies of the self-propelled rotary rounded cutting tool which is the subject of this study, have been examined. Primarily, the self-propelled rotary rounded cutting tool has been designed. The performance of cutting tool has been examined analyzing stress and deformation of designed cutting tool by Ansys finite element programme. It was observed that the results of cutting tool strength analyzing have been sufficient for predicting machining conditions. After providing a high performance cutting tool design, the cutting tool has been manufactured in TAKIMSAŞ Com. Cutting forces and surface roughness values have been measured for three different workpiece materials by using parameters of cutting speed, feed, depths of cut and tilt angle in CNC lathe. Cutting parameters have been determined by the orthogonal Taguchi L9 experimental design, which parameters are effective on cutting forces and surface roughness have been found by Taguchi method. The relation between chip volume and cutting forces has been investigated. It was observed that there are similar characteristics in chip volume and cutting forces. Chip breaking has been examined for three different workpiece materials. It was observed that chip breaking has been acceptable shapes of broken chips by self-propelled rotary rounded cutting tools. As a result, an advanced self-propelled rotary rounded cutting tool has provided higher performance comparing to similar cutting tools mentioned in literature, and it was also seen that it is suitable using higher depths of cut in machining applications.

**Keywords:** Turning, self-propelled rotary cutting tool, Ansys

## BÖLÜM 1

---

### GİRİŞ

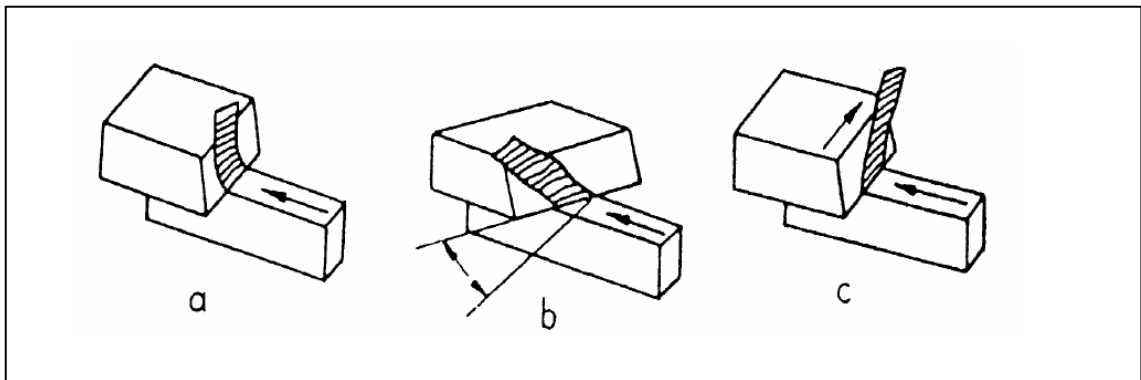
Talaşlı imalat işlemi temel şekillendirme işlemlerinden biri olup genellikle ana imalat işlemlerinden sonra örneğin; dövme, haddeleme, döküm işlemlerinden sonra yarımamül parçalara uygulanır. Metal kesme sürecinde kesici takım, yüksek kesme kuvvetlerine ve yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Yüksek sıcaklıklar takımın termal yumuşamasını hızlandırmaya neden olmaktadır. Bunun sonucunda da takım aşınması, takım hataları ve işlenen parçanın yüzeyinde bozukluklar meydana gelmektedir.

Nikel bazlı ve titanyum alaşımları gibi süper alaşımlar genellikle havacılık ve otomobil endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunların yanında süper alaşımlar ve seramik, tantalyum gibi diğer gelişmiş mühendislik malzemeleri, kimyasal etkilere karşı ve aşınma dirençleri gibi özelliklerinden dolayı yüksek sıcaklık ve yüksek korozyon direnci gereken uygulamalarda; uzay, elektronik, ortopedik, savunma, tıbbi, kimyasal, yapısal endüstride kullanılmaktadır. Bu malzemeler işlenebilmesi zor malzemeler olarak adlandırılmaktadırlar. Sertleştirilmiş çeliklerde ve işlenmesi zor malzemelerde daha kaliteli yüzey elde edebilmek için taşlama yerine sert tornalama işleminin kullanılmasının daha ekonomik olduğu da bahsedilmektedir.

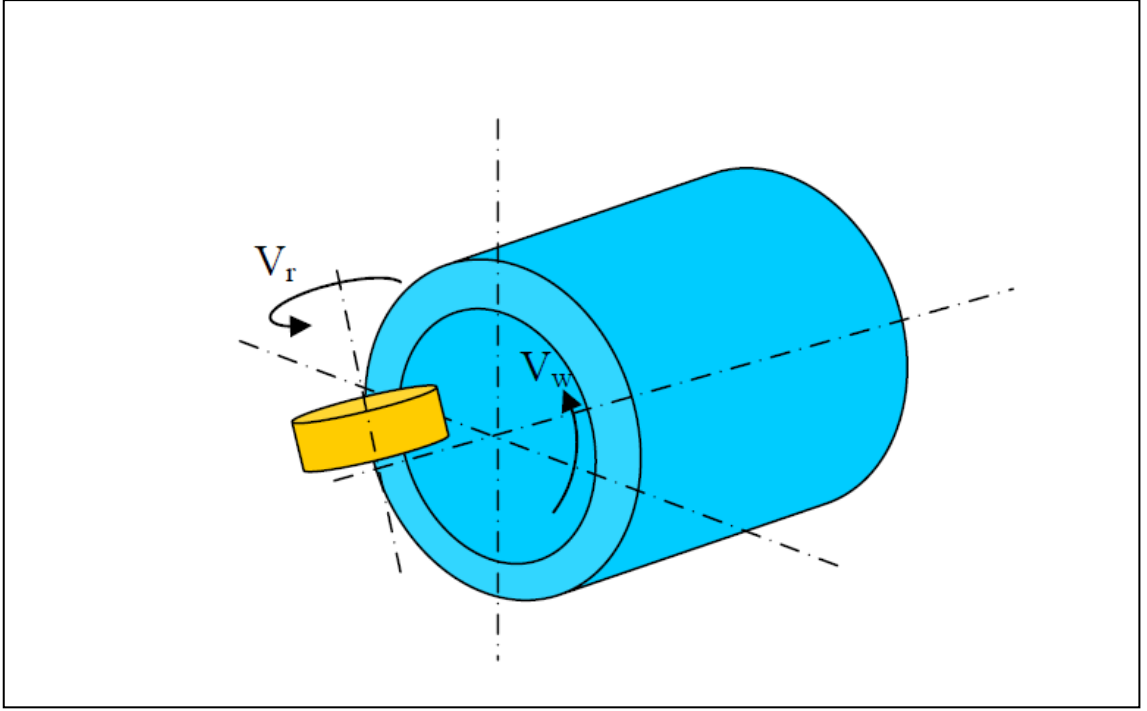
Tipik olarak kesici takım malzemelerinin sertliğinin, işlenecek olacak malzemedan en az üç kat daha sert olması istenilmektedir. Kesici takım malzemelerinden seramik ve PCBN sertleştirilmiş çeliklerin tornalanması için tavsiye edilir. Çünkü bu malzemeler talaş kaldırma işlemi süresince meydana gelen yüksek sıcaklıklara karşı kararlılığını sürdürebilmektedirler. Seramik kesici takımlar ile sert tornalama işlemi bazı taşlama uygulamaları yerine kullanılmıştır.

Sert tornalama işlemi boyunca yüksek kesme sıcaklıkları oluşur. Kesme bölgesinde iş parçasının termal yumuşamasına sebep olan bu sıcaklıklar kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olur. Kesme kuvvetlerinin azalması arzu edilen bir durumdur. Fakat aşırı sıcaklık oluşumu, plastik deformasyona sebep olan kesici kenarın yumuşamasına ilaveten işlenen yüzeyde termal zararlar meydana getirebilir. Yüksek kuvvetler ve sıcaklıklar, sert tornalamada takım aşınma tiplerini etkilemektedir. Oluşan takım aşınması da bir bütünlük içinde yüzey kalitesini etkiler ve böylece bazı zorluklar oluşturur. Takım ucunda oluşan ısının olumsuz etkisi kesme sıvısı kullanılarak veya sürekli değişen bir kesme kenarı kullanılarak azaltılabilir; örneğin dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarda olduğu gibi.

Metal kesmede takım sıcaklığını azaltmak için araştırmacılar tarafından birkaç metot incelenmiştir. Bunlardan bir tanesi kesme sıvısının kullanımıdır. Kesme sıvısı takım sıcaklığını azaltmakta, takım talaş arayüzünde yağlama yapmaktadır. Fakat kesme sıvısının etkinliği, takım-talaş arayüzüne nüfuziyeti kadar etkili olmaktadır. Kesme sıvılarının kullanımı sağlık açısından da zararlı olduğu için son zamanlarda kullanımı azalmaktadır. Bir diğer yaklaşım da aralıklı veya süreksiz kesme kullanmaktır. Bu yaklaşım ya geniş bir takımın kenarına takımın gövdesinden dışarıya doğru bir ısı dağılımına izin veren iş parçasına düz relatif bir hareket ile (Şekil 1.1c) ya da kendi ekseninde dönen bir disk formunda kesme kenarı kullanmakla olabilir. İkincisi dönen yuvarlak uçlu takım olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.2). Kesici takım ucunun dönmesi dışarıdan tahrikli bir motor (Active driven rotary tool) ile olabileceği gibi, talaş oluşumu sayesinde kendinden dönen (Self-propelled rotary tool) de olabilmektedir [1].



Şekil 1.1 Kesici takımların üç temel tipi a)Ortogonal (dik) b)Oblig (eğik) c)Dilimleme hareketi yapan takım [2]

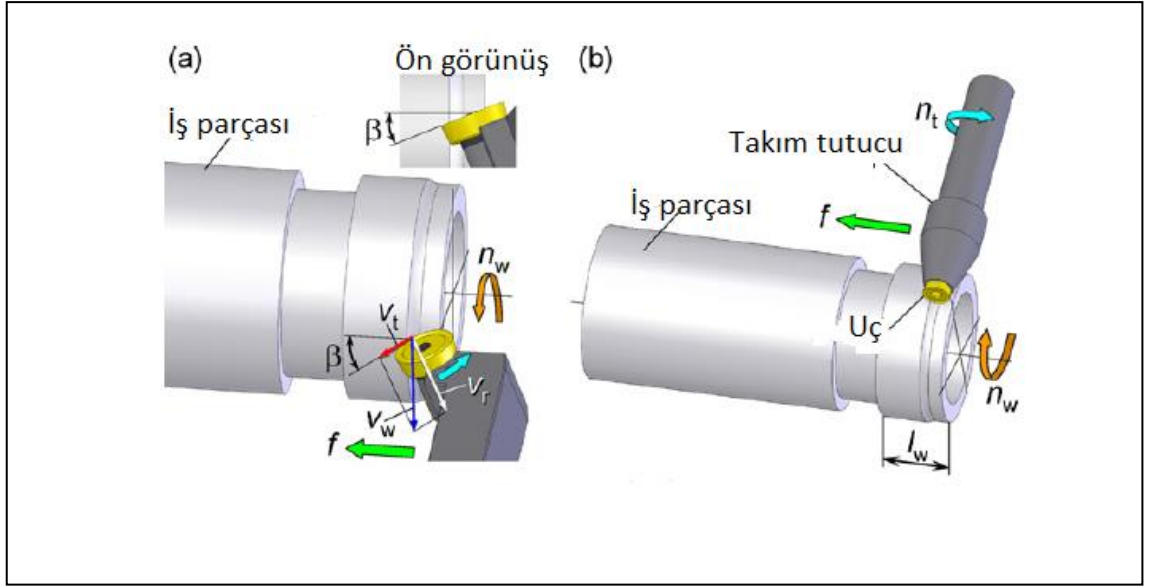


Şekil 1.2 Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın şematik olarak gösterimi [3]

Kendi eksenini etrafında dönen yuvarlak uçlu kesici takımlar, talaş kaldırma işlemi sırasında, talaş ile kesici takımın kesici ağzın sürekli değişmesinden dolayı kesici takımın kendinden soğumasını sağlamakta, sabit uçlu takımlara göre daha düşük sıcaklıklar elde edilmekte, takım aşınmalarının azalmasına ve bu sayede takım ömrünün önemli derecede artışı sağlanmaktadır. Böyle bir takım, tek uçlu tornalama işlemi kullanarak sertleştirilmiş çeliklerin tornalama işleminde, diğer takımların yerine geçerek yüksek maliyetleri de aza indirmektedir.

Sertleştirilmiş malzemelerin geleneksel yöntemlerle talaşlı olarak işlenmesi, tavllanmış iş parçasının işlenmesini kapsar ve buna müteakip ısıtma işlemi, taşlama, süperfiniş ve honlama işlemleri ile devam etmektedir. Bu gibi çok aşamalı işlemlerin ana meselesi açıkça görüldüğü üzere, yüksek maliyet ve zamandır. Hem de bu işlemlerin herbiri için ayrı ayrı birkaç takım tezgahı gerekmektedir [3].

Şekil 1.3'te dönen yuvarlak uçlu takım çeşitlerinden, kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ve dışardan sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takım gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Dönen yuvarlak uçlu takım çeşitleri a)Kendinden dönen takım  
b)Dışardan sürücü tahrikli dönen takım [4]

## 1.1 Literatür Özeti

Dönen yuvarlak uçlu takım ile tornalama işleminde, kesici uç kendi eksenini etrafında döner ve bu sayede takımın kesici kenarı ile iş parçası arasında sürekli bir temas sağlanır. Sabit uçlu takımlara nazaran dönen yuvarlak uçlu takımlar, iş parçası ile kesici kenar arasında soğumaya olanak sağlar ve kesici takım döndüğü için tüm kenar çevresinin kullanılması takımın ısısının azalmasında etkili olur [3].

Dönen yuvarlak uçlu kesici takımlar ile ilgili birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır.

Shaw ve vd. [5] belirttiğine göre, Jamies Napier bu kavramı ilk olarak 1865 yılında tornalama işleminde kullanılmıştır. O zamanlarda talaşlı işleme için modern araçlar ve malzemeler olmamasına rağmen Jamies Napier bu tip takımın ticari faydalarının olacağını öngörmüştür.

Shaw ve vd. [5] 1952 yılında yumuşak çeliğin işlenmesinde sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımın özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada toplam kesme gücünde %30 azalma ve takımın dönmesinden dolayı ölçülen sıcaklıklarda sabit uçlu takımlara göre 205°C azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Iyer ve vd. [6] 1968 yılında kendinden dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarla tornalama işlemleri uygulamışlar ve kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır.

Bruno vd. [7] 1979 yılında tornalamada kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım geliştirme üzerinde çalışmışlardır. Takım ömrü üzerinde inceleme yapmışlardır.

Ping ve Tetsutaro [8] 1991 yılında kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanarak işlenebilmesi zor kompozit malzemeleri tornalamışlardır. Araştırmacılar, konvansiyonel tornalama işlemine göre takım ömrünün daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Chen ve Hoshi [9] 1992 yılında SiC whisker takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin sert metal takımlarla tornalanmasında, dönen yuvarlak uçlu takımların dönmeyen yuvarlak uçlu klasik takımlara göre daha fazla aşınma direnci, 53 kat daha fazla takım ömrü sağladığını ve böylece bu takımların SiC whisker takviyeli alüminyum kompozit malzemelerin talaşlı olarak işlenmesinde kullanılmalarının uygun olacağını belirtmişlerdir. Dönen yuvarlak uçlu takımlarda kesme kuvvetlerinin sabit yuvarlak uçlu takımlara göre %30-40 daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Kompozit malzemelerin

işlenmesinde dönen yuvarlak uçlu takımların yüksek performans sağladığını belirtmişlerdir. Ayrıca işlenebilmesi zor malzemelerin tornalanabilmesi için kendinden dönen yuvarlak uçlu tornalama takımı geliştirmişlerdir.

Armarego vd. [10] 1991 yılında, sürücü tahrikli ve kendinden dönen oblig kesici takım prosesi için kesme analizinin mekanizmasını geliştirmişlerdir ve deneysel olarak kanıtlamışlardır. Eşdeğer klasik oblig kesme prosesi olarak kesme modelini ortaya çıkarmışlardır. Geliştirdikleri kesme modelinden, oblig dönen takım kesme prosesinde kuvvetlerin, gücün, mutlak talaş akış yönünün tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca teorik ve deneysel olarak da kesme modelini doğrulamışlardır.

Eng. Julean D. vd. [11], dönen yuvarlak uçlu takımla işleme durumunda kesme parametreleri üzerinde kesici kenarın dönme hareketinin etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Talaş formunu, kesme kuvvetlerini, güç tüketimini, takım talaş yüzeyinde oluşan sürtünme katsayısını incelemişlerdir ve işlenmesi zor makine malzemelerinin talaşlı olarak işlenmesinde pratik uygulamalar için cazibeli olduğunu, takım ömründe artışın meydana geldiğini ve düşük enerji tüketimi sağladığını belirtmişlerdir.

Chang vd. [12] 1994 yılında, kendinden dönen yuvarlak uçlu takım için kesme hızı ve ilerleme değerleri için teorik bir çalışma yapmışlardır. Tornalamada ve yüzey frezelemede kesme derinliği seçimini ve kesici takıma uygulanmasındaki genel problemleri detaylı olarak incelemişlerdir. Dönen kesici takımlar için küçük kesme derinliklerinde çalışmasını belirtmişlerdir. Ayrıca dönen yuvarlak uçlu takımla işlemede kesici takım-iş parçası-takım tezgahının rijit olmasının çok önemli olduğunu üzerinde durmuşlardır.

Armarego vd. [13] 1993 yılında, sürücü tahrikli ve kendinden dönen yuvarlak uçlu takım kesme operasyonlarının modelini geliştirmişlerdir ve kinematik olarak ilişkilerini teorik olarak incelemişlerdir. Geliştirilen kesme modeline dayalı olarak sürücü tahrikli oblig dönen kesici takım ve kendinden dönen oblig kesici takım proseslerinin analizini gerçekleştirmişlerdir.

Armarego vd. [14] 1993 yılında, dönen yuvarlak uçlu takımlar için daha önce teorik olarak önerdikleri kesme modelinin deneysel olarak doğrulanması hususunda çalışmışlardır.

Armarego vd. [15] 1993 yılında, farklı tip dönen yuvarlak uçlu kesici takım prosesleri için önceki çalışmalarında oluşturdukları kesme mekaniğini geliştirerek bilgisayar destekli modelini oluşturmuşlardır. Bu model ile kuvvet bileşenlerinin, tüketilen gücün ve talaş akış açısının tahminleri üzerinde çalışmışlardır ve deneysel olarak incelemişlerdir.

Armarego ve Katta [16] 1997 yılında, kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile tornalama işleminde kesme kuvvetleri için tahmini bir model sunmuşlardır ve TiN kaplı ve kaplamasız karbür takımlar ile deneysel olarak karşılaştırmalar yapmışlardır.

Joshi vd. [17] 1998 yılında, dönen yuvarlak uçlu karbür takımlarla Al/SiCp kompozit malzemelerin tornalanması işleminde takım aşınmasını incelemişlerdir. Dönen yuvarlak uçlu takımlar için takım tutucu tasarımı yapıp, prototipini imal etmişlerdir. Kesme parametrelerinin etkilerinin analizi için Taguchi Metodunu kullanarak işleme boyunca aşınma üzerinde etkilerini belirlemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada bir takım ömrü modeli geliştirilmiştir. Takım aşınması analizi için dört faktör seçilmiş ve kesme hızının en fazla etkili olduğu belirlenmiştir. Birincil aşınma bölgesinden ikincil bölgeye geçişte eğim açısındaki azalmanın, ilerleme hızı ve eğim açısı etkileşiminin azalmasının, ilerleme hızının artmasının, ilerleme hızı ve eğim açısı ile kesme hızının etkileşiminin katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, yuvarlak uçlu dönen takımların ticari uygulamalarda kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Wang vd. [18] 1998 yılında, titanyum alaşımlarının kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla tornalanmasında klasik takımlara göre takım ömrünün 60 kat arttığını belirtmişlerdir.

Motofumi vd. [19] 2000 yılında, gaz türbinlerinde, hava taşıtı parçalarında ve nükleer ekipmanlarda kullanılan ısıya dayanıklı malzemelerin işlenmesinde kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanmışlardır. Kesme hızlarında artış ve yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlemlemişlerdir.

Altan ve Şahin [20] 2001 yılında, dairesel profilli dönen yuvarlak uçlu takımlarla tornalama konusunda bir literatür değerlendirme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada, dönen takım ile talaş kaldırma mekanizması de literatür bazında incelenmiştir.

Uday A. Dabade vd. [21] 2002 yılında, kendinden dönen yuvarlak uçlu freze takımı ile talaşlı işlemede yüzey pürüzlülüğü ve talaş kesit alanının analizini incelemişlerdir. Kendinden dönen yuvarlak uçlu bir freze takımı özel olarak tasarlanmış ve imal edilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler Taguchi Metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve varyans analizi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve talaş kesit alanı için en önemli faktörün eğim açısı olduğunu gözlemlemişlerdir ve en iyi sonucun 30-45° eğim açısı aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Eğim açısındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ve talaş kesit alanını azalttığını belirtmişlerdir.

Lei ve Liu [22] 2002 yılında, sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu tornalama takımları ile yüksek hızlarda, Ti-6Al-4V titanyum alaşımından talaş kaldırılmasını incelemiş ve sabit takımlarla döndürülen takımlar arasında, kesme kuvvetleri, takım aşınması yönünden karşılaştırmalar yapmışlardır. Dönen yuvarlak uçlu takımların sabit takıma göre 30 kattan fazla takım ömrü verdiğini; optimum kesme şartlarında da daha yüksek değerlere ulaştığını saptamışlardır. Ayrıca takım ucunun dönme hızının etkilerini de deneysel olarak incelemişlerdir. Takım dönme hızındaki artış ile kesme kuvvetlerinin azaldığını ve takım aşınmasının arttığını ispat etmişlerdir.

Kishawy ve Wilcox [23] 2002 yılında, sertleştirilmiş çeliklerin tornalanmasında kendinden dönen yuvarlak uçlu kesici takımların kullanılması konusunda yaptıkları çalışmada, deney malzemesi olarak AISI4340, kesici takım olarak TiN kaplı ve kaplamasız sert metal plaket ve seramik takımlar kullanmışlar, işlem esnasında ısı oluşumu ve takım aşınmasını incelemişler, farklı deney şartlarında eğim açısına bağlı olarak, ısı oluşumunda ve takım aşınmasında azalma gözlemlemişlerdir. Dönen takımlarda krater aşınmasının olmadığını ve takımın optimum dönüş hızında takım sıcaklığının minimum olduğunu ısı analizinden tespit etmişlerdir. Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile işleme esnasında takım dönme hızının düşük olduğu anlarda takım sıcaklığının azaldığını belirtmişlerdir. Takım sıcaklığındaki düşüş ve yüksek takım

aşınma direnci nedeniyle uzun takım ömrü sağladığı için yuvarlak uçlu dönen takımların kullanılmasını önermişlerdir.

Ezugwu vd. [24] 2002 yılında kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanarak titanyum alaşımlarını ince paso tornalamışlardır. Takım malzemesi olarak kaplamasız karbür uç kullanmışlardır. Konvensiyonel yuvarlak uçlu takımlara ve tek uçlu tornalama takımlarına göre takım ömründe artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca dönen takımlarda eğim açısının artmasına bağlı olarak ve yüksek dönme hızlarında kesme sıcaklıklarında düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir. Talaş yüzeyindeki düşük sürtünme ve talaş oluşum miktarındaki azalmadan dolayı dönen yuvarlak uçlu takımlar ile kesme kuvvetlerinde de düşüş olduğunu söylemişlerdir.

Ezugwu vd. [25] 2002 yılında, nikel bazlı ve titanyum bazlı alaşımların işlenebilirliği hakkında bir değerlendirme çalışma yapmışlardır ve kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile bu alaşımların yüksek kesme şartlarında işlenebileceğini belirtmişlerdir.

Kishawy vd. [26] 2003 yılında, kendinden dönen takımları kullanarak Waspaloy ve titanyum alaşımlarının işlenmesinde yüzey kalitesi ve takım performansını incelemişlerdir ve diğer konvensiyonel takımlarla karşılaştırıldığında takım ömründe büyük artışlar görmüşlerdir. Ayrıca kesme kuvvetleri, radyal kuvvet ve ilerleme kuvvetinde azalmalar tespit etmişlerdir. Dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanılarak süper alaşımların yüksek performansta işlenebilmesi için optimum ve güvenli kesme şartlarını deneysel sonuçlar kullanarak belirlemişlerdir.

Subbiah ve Melkote [27] 2004 yılında, sertleştirilmiş çeliklerin, dönen yuvarlak uçlu takımlarla ve konvensiyonel takımlarla işlenmesi sonucunda oluşan yüzey kalitesini incelemişlerdir.

Dessoly vd. [28] 2004 yılında, AISI52100 sertleştirilmiş çeliği, kendinden dönen yuvarlak uçlu TiN kaplı takım ile tornalamışlardır. Kesici takım üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenerek modellenmesi yapılmıştır. Farklı kesme şartları altında kesici takım sıcaklık dağılımı ölçülerek deneysel olarak da modelin doğrulanmasını açıklamışlardır ve bu modelin dönen takım ile işleme prosesinde kesme sıcaklığı oluşumunda doğru sonuçlar vereceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca dönen yuvarlak uçlu takım ile talaşlı işlemede aynı

kesme şartlarında dönmeyen yuvarlak uçlu takımlara göre 50°C daha az kesme sıcaklığı meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Patel ve Joshi [29] 2005 yılında, dönen yuvarlak uçlu freze çakısı kullanarak alüminyum iş parçası üzerinde yüzey frezeleme işleminin mekaniği hakkında çalışmışlardır. Çalışmada kesme kuvvetlerinin ve talaş karakteristiklerinin analizi incelenmiştir. Eğim açısına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde değişimlerin olduğunu tespit etmişlerdir.

Li ve Kishawy [30] 2006 yılında, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla ilgili SAE1045 karbon çeliği kullanarak tornalama işleminde kesme kuvveti modeli geliştirmişlerdir. Farklı kesme şartları altında deneysel kuvvetler ile tahmin edilen kuvvetler arasında uyum olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kishawy vd. [31] 2006 yılında, SAE1045 malzemeden boru şeklinde iş parçası kullanarak tornalama işlemi gerçekleştirmişler, dönen yuvarlak uçlu takımlarda kesme kuvvetleri modeli geliştirerek, talaş akış yönünün önceden belirlenmesine çalışmışlardır. Tahmin edilen ve deneysel olarak ölçülen talaş akış açılarının uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Kesme hızı ve ilerlemenin talaş akış yönü üzerinde açık bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Hao vd. [32] 2006 yılında, dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarda kesme kuvvetlerinin önceden belirlenmesi konusunda yapay sinir ağları oluşturarak çalışma yapmışlardır.

Ezugwu [33] 2007 yılında, havacılık ve uzay sanayinde kullanılan malzemelerden Ni ve Ti esaslı süper alaşımları, dönen yuvarlak uçlu torna takımı ile talaşlı işlemiş, takım ömründeki artışın, kuvvetlerin ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimin talaş kaldırma parametreleriyle ilişkisini belirlemiştir. Dönen yuvarlak uçlu takımların çok iyi aşınma direnci sağladığını, takım ömründe daha fazla artış olduğunu, düşük kesme sıcaklıkları elde edildiğini, kesme kuvvetlerinde eğim açısına bağlı olarak azalmalar meydana geldiğini belirtmiştir.

Hao vd. [34] 2007 yılında, dönen yuvarlak uçlu takımlarla kesme sisteminde dinamik özellikleri incelemişlerdir.

Sasahara vd. [35] 2008 yılında, işlenmesi zor malzemelerin dönen yuvarlak uçlu takımlarla yüksek hızda tornalanmasını incelemişlerdir. En optimum eğim açısı ve takım

dönme hızını seçerek kesme kuvvetlerinde azalmanın olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek kesme hızında (500 m/dak) , kuru kesme altında kesme sıcaklıkları ölçümü yapılmış ve konvensiyonel takımlarla karşılaştırıldığında daha az kesme sıcaklığı oluştuğunu ve takım aşınmasında azalmanın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Harun vd. [36] 2008 yılında, sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımlarda tornalama işleminde kesme mekaniği ile ilgili çalışma yapmışlar ve takım dönüş hızının ve eğim açısının kesme kuvvetleri, talaş oluşumu ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Takım dönme hızının artması ile radyal kuvvetlerde azalma, eksenel kuvvetlerde artma, kesme sıcaklıklarında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Kesme kuvvetinde çok fazla bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Harun vd. [37] 2009 yılında, bir diğer çalışmalarında sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımla tornalama işleminde kesme sıcaklıklarını incelemişler ve ölçülen minimum kesme sıcaklığının dönmeyen takımlara göre karşılaştırıldığında 150°C daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca takım dönme hızı ve eğim açısı arttıkça kesme sıcaklığının azaldığını belirtmişlerdir.

Hosokawa vd. [38] 2010 yılında, sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takım kullanarak AISI304 östenitik paslanmaz çelik ve Inconel 718 nikel bazlı alaşımı tornalamışlardır. Paslanmaz çelik(AISI304) malzemede dönüş hızının 10 m/dak'dan 200 m/dak'a artırılması sonucunda sıcaklığın 730°C'dan 640°C'a düştüğünü gözlemlemişlerdir. Her iki malzemenin işlenmesinde de yuvarlak kesme kenarı boyunca talaş ve serbest yüzeyde çok düzenli ve az miktarda aşınma olduğunu belirtmişlerdir.

Hiromasa vd. [39] 2010 yılında, işlenmesi zor malzemelerden SUS304 paslanmaz çeliğini kullanarak dönen yuvarlak uçlu takımla tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızı ve takım dönme hızı parametrelerinin, takım sıcaklığı ve takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Kishawy vd. [40] 2011 yılında, yüksek sertlikte AISI4340 çeliğinin kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlar ile tornalanmasında takım aşınmasını genetik algoritmalar kullanarak modellemişlerdir. Ölçülen ve modelden bulunan sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu görmüşlerdir.

El-Mounayri vd. [41] 2011 yılında, zor işlenebilen malzemelerin dönen yuvarlak uçlu takımlarla tornalanmasında; kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, takım aşınması konularında çalışmışlar, klasik takımlara göre yüksek takım ömrü ve aşırı performans elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Kıyak ve Altan [42] 2012 yılında, alaşımsız çeliğin, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla, 0,25 mm kesme derinliğinde tornalanmasında yüzey kalitesi üzerine işlem parametrelerinin etkilerini belirlemişlerdir. Farklı değerlerde kesme hızları, ilerleme, eğim açısı ve talaş açısı kullanarak optimum pürüzlülük değerini incelemişlerdir. En iyi değer 0° talaş açısı, 45° eğim açısı 0.1 mm/dev ilerlemede ve 120 m/dak kesme hızında olduğunu tespit etmişlerdir.

Kato vd. [43] 2012 yılında, sertleştirilmiş çeliklerin ince tornalama işleminde sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımla kesme işlemi gerçekleştirmişler ve takım aşınmasında azalma olduğunu, tek uçlu kesici takımlara göre radyal kuvvetin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kossakowska ve Jemielniak [44] 2012 yılında, işlenmesi zor malzemelerin ince pasalarda, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla tornalanması için yüksek rijitlikte bir takım dizayn etmişler, kesme kuvvetlerini ve değişimlerini, işlenen yüzeyin kalitesini inceleyerek titreşim etkilerini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Olgun ve Budak [45] 2013 yılında, dönen takımla tornalama işleminde işlenmesi zor alaşımları tornalamışlardır. Takımın kendi kendine soğumasından ve kesme hızının azaltılmasından dolayı çok iyi takım aşınma direnci ve takım ömründe artışın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetlerinin sabit takımlarla karşılaştırıldığında dönen yuvarlak uçlu takımlarda daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Felix ve Martin [46] 2013 yılında, kendinden dönen ve sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımlarla Nikel bazlı alaşımların işlenmesini incelemişlerdir. Çalışmada takım aşınması, talaş oluşumu, kesme kuvvetleri incelenerek sabit takımlarla karşılaştırılmıştır.

Kıyak vd. [47] 2014 yılında, dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarla tornalama işleminde takım ömrünü araştırmışlardır. Farklı talaş kaldırma parametreleriyle çelik iş parçasının

tornalanmasında serbest yüzey aşınmasının aynı takım ucu malzemesine sahip sabit-dönmeyen takıma göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan önceki çalışmalar gözönüne alındığında, dairesel profilli dönen yuvarlak uçlu takımlarla tornalamada; takım aşınması sadece belirli bir bölgede değil, tüm hareketli kesici ağız üzerinde dağılım göstermektedir. Takım döndüğü için, talaş kaldırma esnasında oluşan ısı bölgesel olmayıp, hareketli kesici ağız üzerinde dağılmakta, daha fazla ısı akışı nedeniyle ısının zararlı etkileri azalmaktadır. Dönen kesici uçların kullanıldığı takımlarla çalışıldığında takım uç dayanımı artmaktadır. Takımın kendine özgü geometrisi nedeniyle büyük etkin talaş açısı sağlanabilmektedir. Kesen ağız ile iş parçasının temas yeri sürekli değiştiğinden, kesme sıvısı etkinliği artmakta, bu da takım ömrünün artmasını sağlamaktadır. Bu tipteki takımlarla talaşlı şekillendirmede iş parçasının yüzey kalitesinde de artışlar sağlanabilmektedir. Ayrıca, talaşlı işleme kabiliyeti düşük olan malzemelerin talaşlı işlenmesi de kolaylaşmaktadır. Bunun yanı sıra, bu takımların kullanılmasıyla, sürekli talaş veren malzemelerin işlenmesinde de kısa talaş oluşumu görülmekte ve dolayısıyla talaşlı işleme kolaylaşmaktadır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Talaş kaldırma esnasında, dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarda kesen ağzın etkin kısmının sürekli olarak değişmesi sonucunda, takımdaki sıcaklık etkisinin azalması ve takım ömründe büyük artışlar sağlanmıştır. Önceki yapılan çalışmalarda, tornalama için dönen yuvarlak uçlu kesici takımlara ait belirli amaçlara yönelik farklı tasarımlar yapılmış; takımlar imal edilerek laboratuvar ortamlarında kullanılmışlardır. Yapılan tüm çalışmalarda, ince talaş kaldırmaya uygun takım tasarımları gerçekleştirilmiş ve işlem parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Takımın performansını artıracak optimum takım geometrisine göre yeni bir takım dizaynı ve imalatı bu çalışmanın konusudur. Çalışma esnasında takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetlerine ve iş parçası yüzey kalitesine olan etkileri de belirlenecektir.

Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, yapılan her çalışmanın genellikle işlenen iş parçası malzemesine yönelik çalışmalar niteliğinde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, kendinden dönen yuvarlak uçlu tornalama takımının yüksek talaş kaldırma performansı sağlayacak şekilde geliştirilmesi öncelikli amaçtır.

Bu konuda daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda geliştirilen takımların, orta ve kaba talaş kalınlıklarında kullanılamamasının nedeni, takım ucu bağlama tasarımlarından kaynaklandığı; dönen plakelerin küçük çapta olmaları, yataklama millerinin küçük çaplarda olmasından dolayı yeterli rijitliğe sahip olmadığı görülmektedir. Daha büyük çapta bir plaket kullanılarak, daha rijit bir mille yataklanarak orta ve kaba talaş kalınlıklarında da kullanılması bu çalışmanın amaçlarındandır.

Bu konuda ticari olarak, dönen yuvarlak uçlu takımların üretildiği uluslararası düzeyde tek firma, Rotary Technologies Corporation (RTC) adı ile Wixom, Michigan'da üretim yapmaktadır. Ancak, tüm bu çalışmalarda tasarlanan ve üretilen takımlarla, tasarımlarından kaynaklanan küçük talaş derinliklerinde çalışmak mümkün olabilmıştır. Takımın yüksek performansla çalışması, takım ömrünü arttırmasının yanı sıra, birim zamanda fazla miktarda talaş kaldırma imkanını da sağlayacaktır. Dönen uçlu takımlarda takım ömrünün arttığı bilinmektedir. Talaş hacminin arttırılmasının, talaş derinliğinin artırılması ile oluşturulması düşünülmüştür.

Günümüze kadar bu konuda takım tasarımlarının belirli amaçlar ve malzemeler için gerçekleştirildiği ve genellikle laboratuvar şartlarında kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak geliştirilen takımın talaşlı imalat sektöründe, farklı kesme derinliklerinde kullanılabilecek şekilde tasarlanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın özgün yanı, yüksek talaş kaldırma performansı sağlayan orta ve kaba talaş kaldırmalarda da kullanılabilen dönen yuvarlak uçlu bir tornalama takımı tasarlayıp imal etmek ve bilime, teknolojiye ve imalat sanayiine katkı sağlamaktır.

### **1.3 Hipotez**

Yapılan literatür araştırmasında, dönen yuvarlak uçlu takımlarla yapılan çalışmalarda tornalama işleminde küçük pasolarda talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu

Çalışmada orta ve kaba pasolarda da yüksek talaş kaldırma performansı sağlayan bir takım tasarlayarak imal edilmesi amaçlanmaktadır.

nceki yapılan çalışmalarda kullanılan dönen takım uçlarının (R tipi plaketi) apları küçük seçilmiştir. Takım kendi ekseninde döndüğünden ve takımın buna göre rulmanlı yataklanması gerektiğinden ve takım çapı küçük olduğundan kesme derinliği büyük olamamaktadır. Kesme derinliğini artırabilmek için takım çapını bytmek kısmen artış sağlayacaktır. Bu çalışmada büyük çapta takım ucu kullanılması dşnlmştir. Bu amaçla, öncelikle, takım ucu tutucusunun geometrisinin tasarlanması yapılacaktır. Tasarımda takımın kafa kısmı ile sap kısmının birleşme noktasında bağlantı mili üzerinde pens kullanılacaktır. Bu pens vasıtası ile takıma pozitif ve negatif yönde kademesiz eğim açısı verilebilecektir. Kesici yuvarlak uç, takımın kafa kısmına mil ve rulmanlar vasıtası ile monte edilecektir. Kesici yuvarlak uç, takımın kafa kısmında daha önce literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak sadece alttan bir taraftan değil, st kısımdan da desteklenmesi(mil iki yandan yataklanarak), bu sayede daha rijit bir takımın oluşturulması düşünülmektedir.

### TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME VE TAKIM

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun ve ağzının aşınması gibi olayların meydana geldiği, karmaşık bir fiziksel olaydır [48].

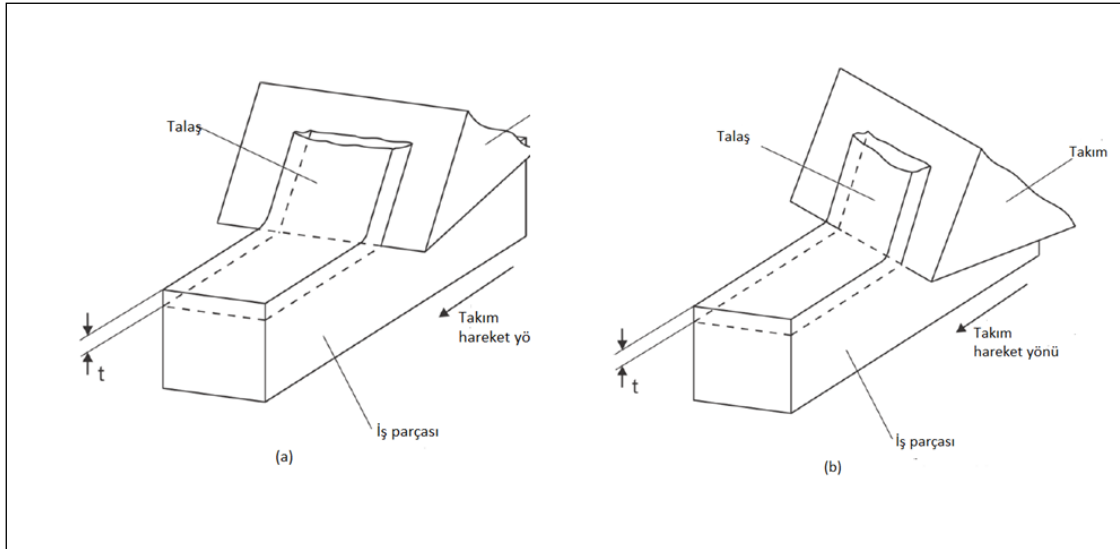
#### 2.1 Talaş Oluşumu ve Talaş Kaldırma Mekanizması

Talaş kaldırma işlemi, iş parçasından uygun bir kesici takım yardımı ile talaş adı verilen malzeme tabakalarının uzaklaştırılmasıdır. Talaş oluşumunun gerçekleşmesi için üç temel gereksinim vardır. Bunlar:

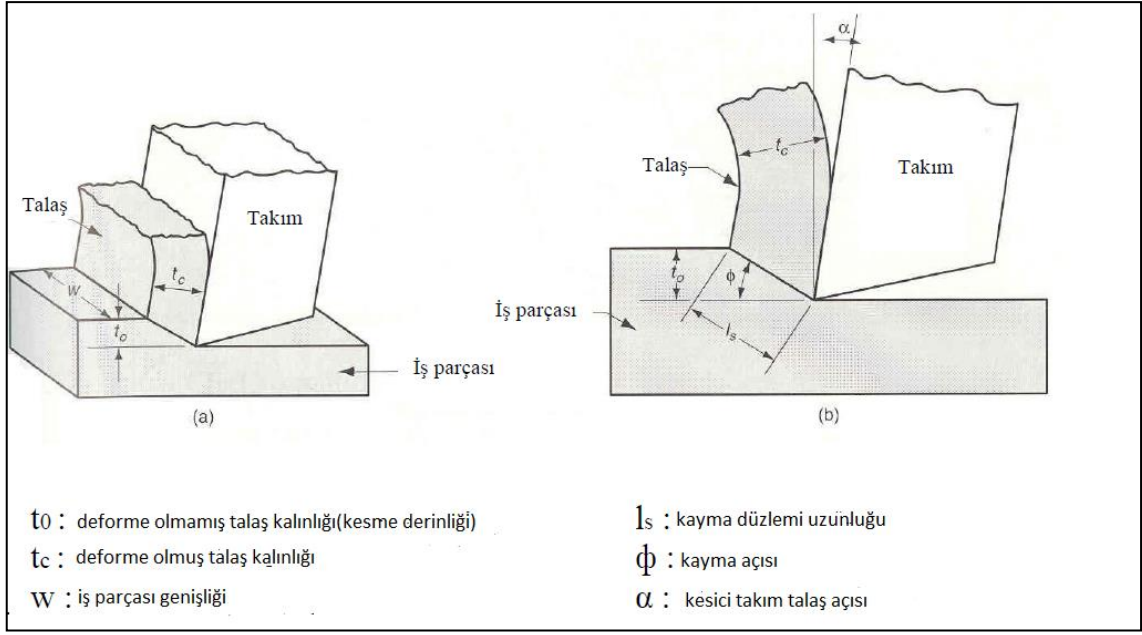
- Kesici olarak kullanılan bir takımın, iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması,
- Talaş derinliği ve ilerlemeyle iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olması,
- İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvette yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya izafi hareketin oluşmasıdır [49].

Talaş oluşumuna etkileyen en önemli etkenler; takım geometrisi, takım malzemesi, iş parçası malzemesi, takım tezgahı ve donanımı, kesme şartları ve kesme sıvılarıdır.

Talaş kaldırma işlemi geometrik olarak iki temel kategoriye ayrılmaktadır: Ortogonal (dik) kesme (Şekil 2.1a) ve obliğ (eğik) kesme (Şekil 2.1b). Oblig kesme pratikte üç boyutlu talaş kaldırma işlemidir. Oblig kesmede kesici ağız ve kesme hızı vektörü birbirine dik değildir ve aralarında belirli bir açı vardır. Ortogonal kesmede ise kesici ağız ve kesme hızı vektörü birbirine diktir. Oblig kesme gerçeğe yakın olmasına rağmen, talaş kaldırmayı bu şekilde düşünmek işlemin analizini ve modellenmesini teorik açıdan zorlaştırdığı için talaş kaldırma mekaniğinin tanımlanmasında ortogonal kesme modeli kullanılır (Şekil 2.2). İki boyutlu ortogonal kesme modeli talaşlı imalat işlemi mekaniğinin analizinde önemli rol oynar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlaması ve kayma düzleminde kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu meydana gelir [50].



Şekil 2.1 a)Ortogonal (dik) ve b) Oblig (eğik) kesme [51]

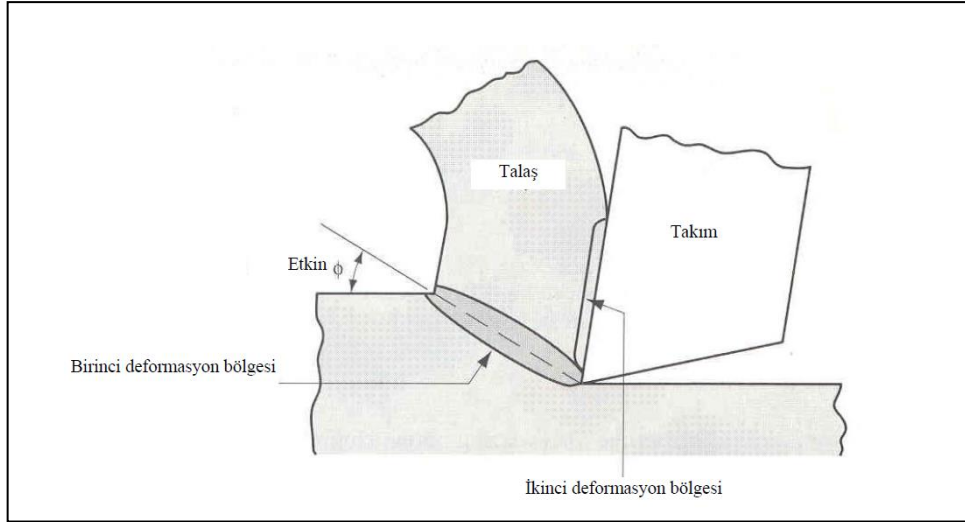


Şekil 2.2 Ortogonal kesme modeli: a) Üç boyutlu b) İki boyutlu görünüş [50]

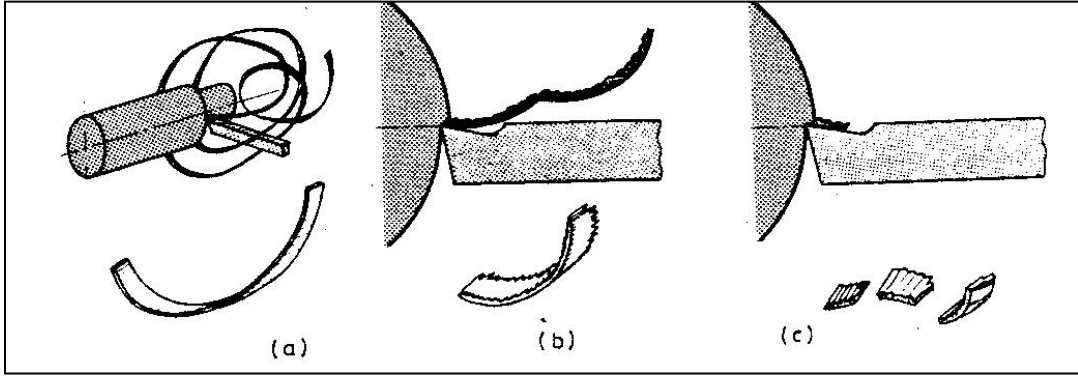
Takım ucunun temas ettiği metal tabakasında; önce elastik, sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akma başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır [48].

Gerçekte talaş oluşumu ince bir bölgede oluşur. Talaş oluşumunda plastik deformasyon önemli rol oynar. Kesici takım ve iş parçası arasındaki göreceli hareket sonucunda iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Meydana gelen talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden atılır. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyinden geçerken kayma ve yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır (Şekil 2.3).

Bu oluşum mekanizmalarına göre pratikte sürekli, yapışık ve kesintili olmak üzere üç talaş tipi vardır. Bant veya sarılmış şekilde olan sürekli talaş tipi (Şekil 2.4a), yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme ile işlenen sünek malzemelerde; yapışık talaş tipi (Şekil 2.4 b), orta kesme hızı ve yüksek ilerleme ile işlenen sünek malzemelerde; kesintili talaş tipi (Şekil 2.4c), küçük kesme hızı ve yüksek ilerleme ile işlenen sünek malzemeler ve gevrek malzemelerin talaşlı işlenmesinde oluşurlar [48].



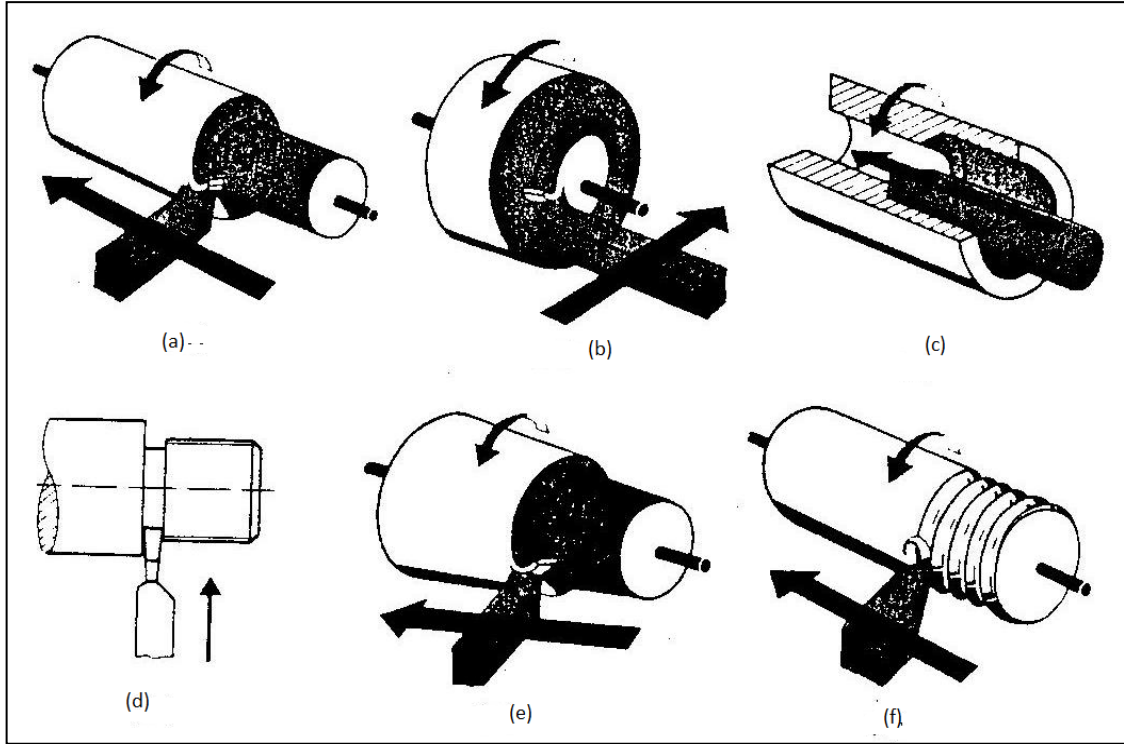
Şekil 2.3 İşlenen parçadaki deformasyonu gösteren talaş oluşumu [50]



Şekil 2.4 Talaş tipleri a)sürekli b)yapışık c)kesintili talaş tipi [48]

## 2.2 Tornalama

Tornalama; kesme hareketi parçanın dönme hareketi ve ilerleme hareketi takımın öteleme hareketi ile gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir (Şekil 2.7). Takımın ilerleme hareketi, parçanın uzunluğuna(a) veya enine(b) yönde yapılabilir. Bununla beraber tornalama ile; iç tornalama(c), fatura açma(d) veya kesme, konik tornalama(e) ve vida açma(f) gibi işlemler uygulanabilir [48].



Şekil 2.5 Tornalama işlemleri a)Boyuna b)Alın c)İç d)Fatura veya kesme e)Konik f)Vida[48]

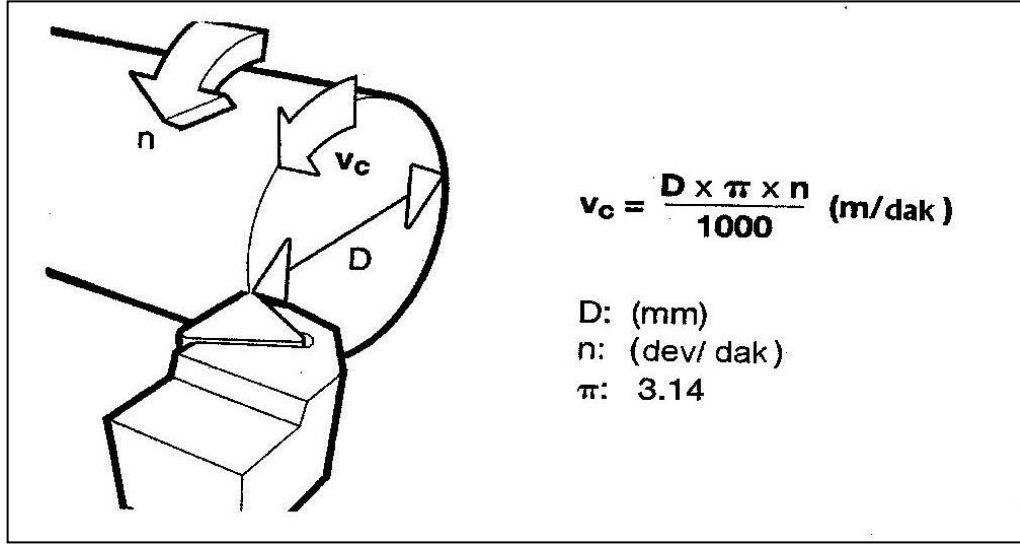
Tornalama işlemi talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda ve imalat sanayiindeki uygulamalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. İşlenecek olan iş parçası genellikle parçanın durumuna göre genellikle bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit bir şekilde bağlanmış kesici takım, dönen iş parçası eksenine paralel, dik veya açılı olarak ilerletilerek ve iş parçasından belirli bir talaş kaldırılarak dönel çeşitli profiller oluşturulur.

## 2.2.1 İşleme Parametreleri

### 2.2.1.1 Kesme hızı

Bir torna tezgahında iş parçası devir/dakika cinsinden belirli bir fener mili hızıyla ( $n$ ) dönmektedir. Bu dönme hızı iş parçasının işlendiği noktada, işlenen çapa bağlı olarak, bir kesme hızının ( $V_c$ ) tanımlanabilmesine sebep olur. Bu hız, talaş kaldırılan çapta kesici kenardan geçen iş parçası çevresinin hızıdır. Gerçek kesme hızının hesaplanması için, işlenen çaptaki iş parçasının çevresi ( $D \times \pi$ ) ile fener mili devrinin çarpılması gerekir.

Fener mili devri ile talaş kaldırılan iş parçası çevresindeki kesme hızı arasındaki bağıntı Şekil 2.6’da verilmektedir.



Şekil 2.6 Tornalamada kesme hızı ve devir sayısı [52]

Kesme hızı sadece fener mili devri ve/veya işlenen çap değişmediği müddetçe sabittir [52].

#### 2.2.1.2 İlerleme Hızı

İlerleme hızı, kesici takımın çeşitli yönlerde dakikadaki ilerleme miktarıdır.  $V_f$ (mm/dak) ile gösterilir. Devir başına ilerleme (s-mm/dev) ise iş parçasının bir devrinde takımın aldığı yoldur. İlerleme, işlenen iş parçasının yüzey kalitesinin belirlenmesinde ve uygun talaş oluşumunun sağlanmasında önemli bir parametredir. Aynı zamanda talaş kırma işleminin kalitesi üzerinde de etkisi vardır. İlerlemeyi talaş derinliği, iş parçası malzemesinin cinsi, kesme hızı, torna tezgahının gücü ve kapasitesi öncelikle etkilemektedir.

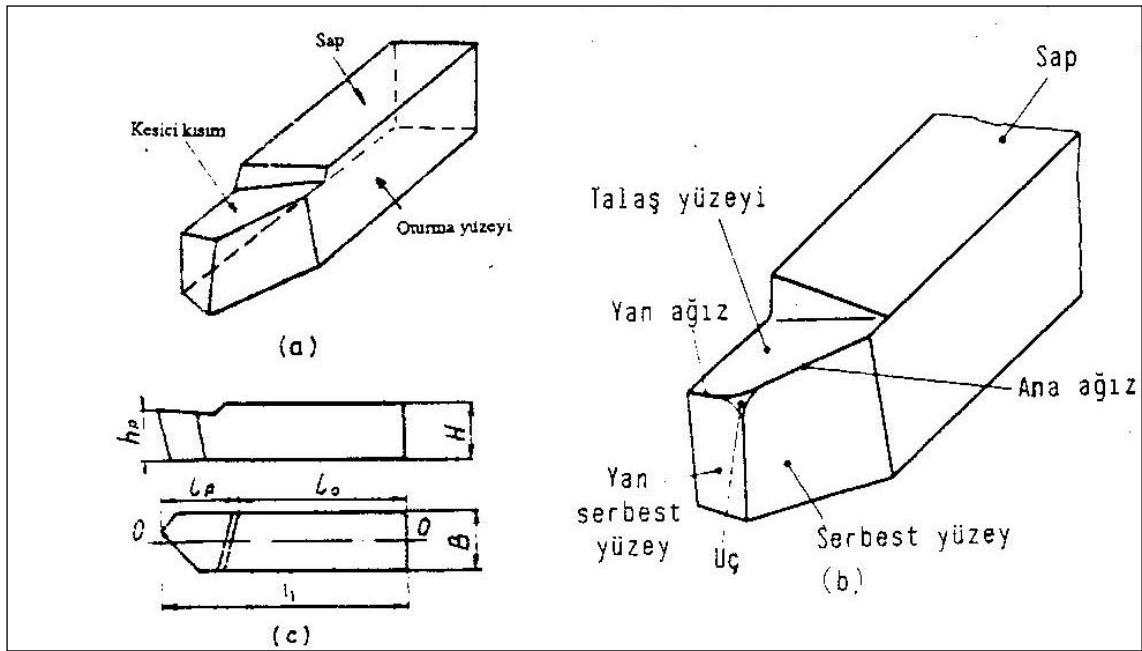
#### 2.2.1.3 Kesme Derinliği

Kesme derinliği, kesici takımın iş parçası içine dikey olarak dalma mesafesidir. İş parçasında ilk çap ile son işlenilmiş parça çapı arasındaki farkın yarısıdır.  $a_p$  ile simgelenmektedir. Kesme derinliği her zaman kesici kenara göre değil, takımın ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde ölçülür.

### 2.2.2 Takım Geometrisi

Takım tezgâhlarında kullanılan ilk tek kesen ağızlı kesici takım 1770'lerin sonunda Wilkinson tarafından delik büyütme amacıyla geliştirilmiştir. 1800 yılında Mardslay torna tezgâhında vida çekme işleminde bu takımları kullanmış ve daha sonra takımlar geliştirilerek planya, freze ve matkap tezgâhlarında kullanılmıştır.

Tornalama işleminde kullanılan kesici takımlar genellikle tek kesen ağızlı takımlardır. Bu takımlara kalem de denilmektedir. Tornalama takımları sap ve kesici kısımlardan oluşmaktadır (Şekil2.7a). Takımın kesici kısmı; serbest yüzeyler, talaş yüzeyi, ana ağız, yan ağız ve uç'tan meydana gelmektedir (Şekil2.7b).



Şekil 2.7 Torna kalemi [48]

Talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın aktığı yüzeydir. Serbest yüzeyler, takımın işlenen yüzeye bakan yüzeyleridir. Bu yüzeylere serbest yüzey ve yan serbest yüzey denir. Ana ağız, takımın talaş kaldıran kesme kenarıdır. Ana ağız, serbest yüzey ve talaş yüzeyinin kesişmesinden meydana gelir. Yan ağız, yan serbest yüzey ile talaş yüzeyinin kesişmesinden oluşur. Uç, ana ve yan ağzın birleştiği kısımdır. Takım ucu belirli bir yarıçapa göre yuvarlatılmaktadır.

Takımın sap kısmı, genelde boyutları  $H$  ve  $B$  ile ifade edilen dikdörtgen kesitli yapılıdır (Şekil 2.7c). Bazı durumlarda sap dairesel ve çokgen kesitli olabilir [48].

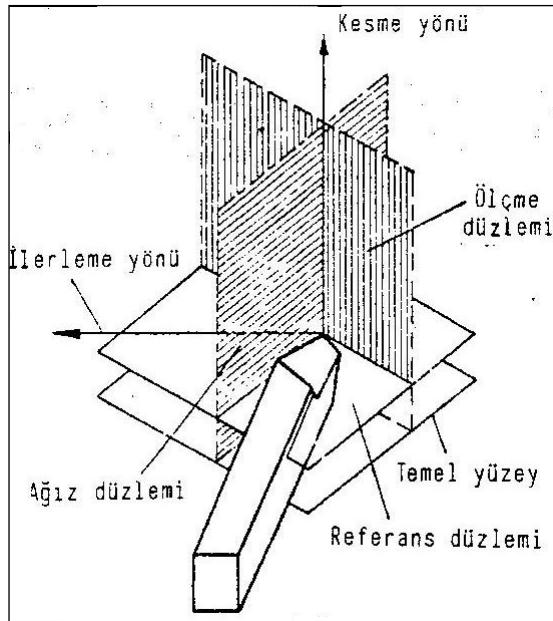
### 2.2.2.1 Takımın Kesici Kısımındaki Açıların Saptanması İçin Referans Sistemler

Takımın kesici kısmının geometrisi, belirli bir referans sistemlerine göre saptanır. DIN 6581 standardına göre kesme yönünü esas alan takım referans sistemi ve etki yönünü esas alan etki referans sistemi olmak üzere iki referans sistemi vardır. Takım referans sistemi, takımın çalışması ve imalatı bakımından önemlidir. Etki referans sistemi ise, talaş kaldırma olayının gösterilişi için anlam taşır. Takım referans sistemi; referans düzlemi, kesen ağız düzlemi ve ölçme düzleminde oluşmaktadır (Şekil 2.8). Takım açıları, takımın kesme durumundaki konumunu gösteren referans düzlemi esas alınarak belirlenir. Şekil 2.9 da referans düzlemi 1, ağız düzlemi 2 ve ölçme düzlemi 3 ile gösterilmiştir. Referans düzlemi esas olarak alınırsa, takımın ana ağzına dik bir kesitte (A-B kesiti) talaş açısı ( $\gamma$ ), kama açısı ( $\beta$ ) ve serbest açısı ( $\alpha$ ) tayin edilir. Bu açılar arasında,

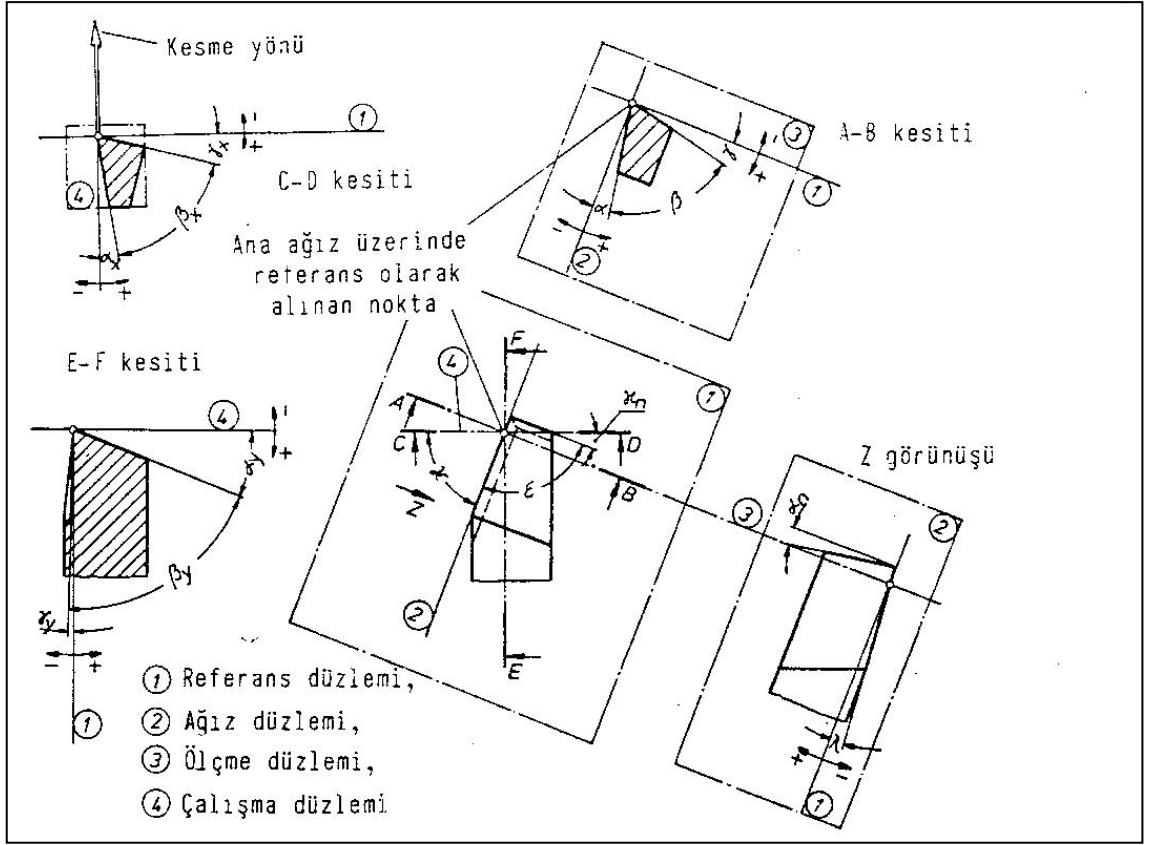
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (2.1)$$

bağıntısı vardır.

Serbest açısı, serbest yüzle işlenen yüzey arasındaki sürtünmeyi azaltmak maksadıyla düzenlenir. Bu açı çok küçük olursa takımla parça arasındaki sürtünme yolu uzar ve meydana gelen ısı da o oranda artar. Diğer taraftan gereksiz yere büyük serbest açısı, sabit talaş açısı için, kama açısının küçülmesine ve bu suretle ağzın zayıflamasına sebep olur. Serbest açının değeri genellikle  $4^\circ - 10^\circ$  arasında değişir [48].



Şekil 2.8 Takım geometrisini tayin eden düzlemler [48]



Şekil 2.9 Torna kaleminin takım referans sistemine göre açıları [48]

Kama açısının alabileceği en küçük değer sınırlandırılmıştır. Aksi halde kesici uç çok zayıflar ve kesme kuvveti ile kopar. Ayrıca zayıf bir kamada ısı birikimi çok fazla olup, yüksek kesme hızlarında kesici ucun sıcaklığı çok artar. Bu da istenmez.

Talaş açısı iş parçasında kesme sırasında meydana gelen kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açısının değeri pozitif veya negatif olabilir. Büyük talaş açıları, uygun kesme hızlarında akma talaşı oluşturur. Çünkü bu durumda talaş sıkışması küçük olup kesme kuvveti ve gerekli talaş kaldırma gücü azalır. Büyük talaş açıları yalnızca yumuşak ve elâstik malzemelerde kullanılabilir. Küçük veya negatif talaş açıları, sert ve kırılgan malzemelerin talaşlı işlenmesinde kullanılır. Çünkü bu malzemelerin büyük talaş açısı ile işlenmesinde kesici ucun kırılma tehlikesi vardır. Oluşan kesintili talaş kesici ucun biraz gerisinde talaş yüzeyine çarpar ve orayı oyar.

Takımın referans düzlemdeki üstten görünüşünde uç açısı ( $\epsilon$ ), yerleştirme açısı ( $\chi$ ) ve yan yerleştirme açısı ( $\chi_n$ ) vardır. Uç açısı ana ve yan kesici kenar arasındaki takım

referans düzlemi üzerinde ölçülen açıdır. Yerleştirme açısı, kesme yönü ile ana ağzın yaptığı açıdır. Bu üç açı arasında,

$$\varepsilon + \chi + \chi_n = 180^\circ \quad (2.2)$$

bağıntısı yazılabilir.

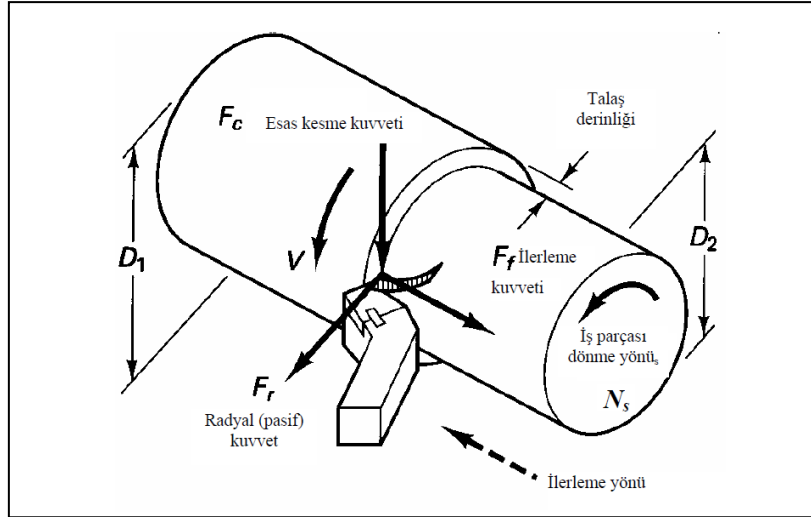
Takımın diğer bir açısı da eğim açısıdır ( $\lambda$ ). Ana kesici kenar ile takım referans düzlemi arasında bulunan ve kesici kenar düzlemi üzerinde ölçülen açıdır. Kesen ağza uygun değerlerde bir eğim açısı verilerek, ağızda ve ağzın uç kesiminde meydana gelebilecek mekanik yükleme önemli oranda hafifletilebilir.

### 2.2.3 Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için takıma uygulanan hareketler ile, kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı oluşan kuvvetlerdir. Talaş kaldırma anında meydana gelen kesme kuvvetleri, takım ömrünü, ısı oluşumunu, yüzey kalitesini etkilemektedir. Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler Şekil 2.10' da gösterilmiştir.

Tornalama da talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli bileşke talaş kaldırma kuvveti  $F_c$ ; kesme kuvveti  $F_t$ , ilerleme kuvveti  $F_f$  ve radyal kuvvet  $F_r$  olmak üzere üç bileşene ayrılır.

$F_c$  kesme kuvveti işlenen yüzeye teğet olup kesme yönündedir. Kesme kuvveti kesme hızı yönünde etki eder. İlerleme kuvveti  $F_f$  işlenen iş parçasının eksenine paralel olup, ilerleme yönüne zıt kuvvettir. Radyal kuvvet  $F_r$  parça eksenine dik bir düzlemde bulunur. Esas kesme kuvvetinin büyüklüğü talaş kaldırmak için gerekli gücü etkiler.



Şekil 2.10 Tornalama da kesme kuvvetleri [50]

Talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kuvvetler; tezgah gücünün belirlenmesi için, takım tezgahına ait parçalara etkiyen yük ve momentlerin belirlenmesi için, takım veya iş parçası bağlantı elemanlarının tasarımı için, kesici takım tasarımı için, yeni iş parçası malzemelerinin ve yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi için önemlidir.

### DÖNEN YUVARLAK UÇLU KESİCİ TAKIMLAR

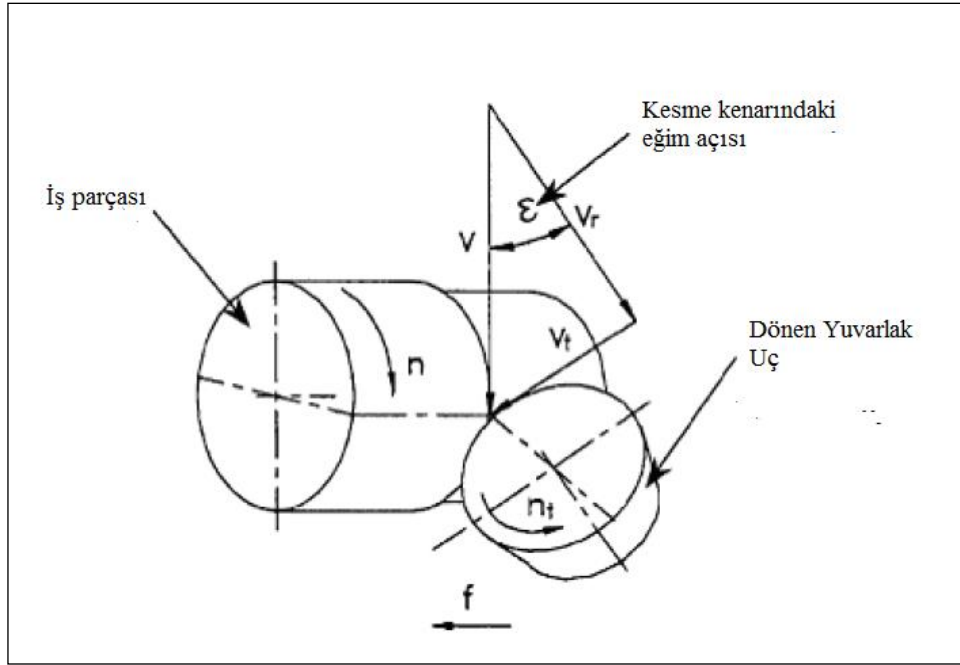
Konvensiyonel pratik talaşlı işleme operasyonlarının çoğunda; örneğin tornalama ve delme işleminde, kesici takım kesme kenarı işlenilen iş parçası ve talaş ile sürekli olarak temas halindedir. Bunun sonucunda da yüksek takım-talaş arayüzü gerilmeleri, yüksek takım sıcaklıkları, takım aşınması ve takım bozulmaları meydana gelmektedir. Bu olumsuz durumların giderilmesi için alternatif bir çözüm olarak dönen yuvarlak uçlu kesici takımların kullanılması düşünülmüştür.

#### 3.1 Dönen Yuvarlak Uçlu Takımların Genel İlkeleri ve Sağladığı Yararlar

Genellikle, dönen yuvarlak uçlu kesici takım ile tornalamada yuvarlak ucun kesme kenarı kendi eksenini etrafında döner ve böylece takımın kesici kenarı kesme bölgesine sürekli temas eder. Konvensiyonel sabit uçlu takımlarla veya dönmeyen yuvarlak uçlu takımlarla karşılaştırıldığında, dönen yuvarlak uçlu takımlar iş parçası ile temasda kesme kenarının her kısmının soğutulmasını sağlar ve kesme kenarının tüm çevresinin kullanılması takım sıcaklığının azalmasında etkili olur. Venuvinod ve arkadaşları yumuşak çeliğin işlenmesinde takım sıcaklığının dönmeyen uçlu takımlara göre 500°C azaldığını belirtmişlerdir [22].

Yuvarlak ucun dönmesi dıştan bir tahrikle (sürücü tahrikli dönen takım) veya kesme kuvvetleri ve talaş oluşumundan dolayı kendi kendine hareket ile (kendinden dönen takım) ile sağlanır. Dolayısıyla dönen yuvarlak uçlu takımlar, sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takım ve kendinden dönen yuvarlak uçlu takım olarak iki farklı kategori olarak sınıflandırılabilirler.

Dönen yuvarlak uçlu takımla kesme ve konvensiyonel takımla kesme arasındaki temel fark Şekil 3.1’de gösterildiği gibi kesme hızı ve ilerleme hızı hareketlerine ek olarak kesici kenarın da hareketidir [24].



Şekil 3.1 Dönerek kesmenin prensibi [9]

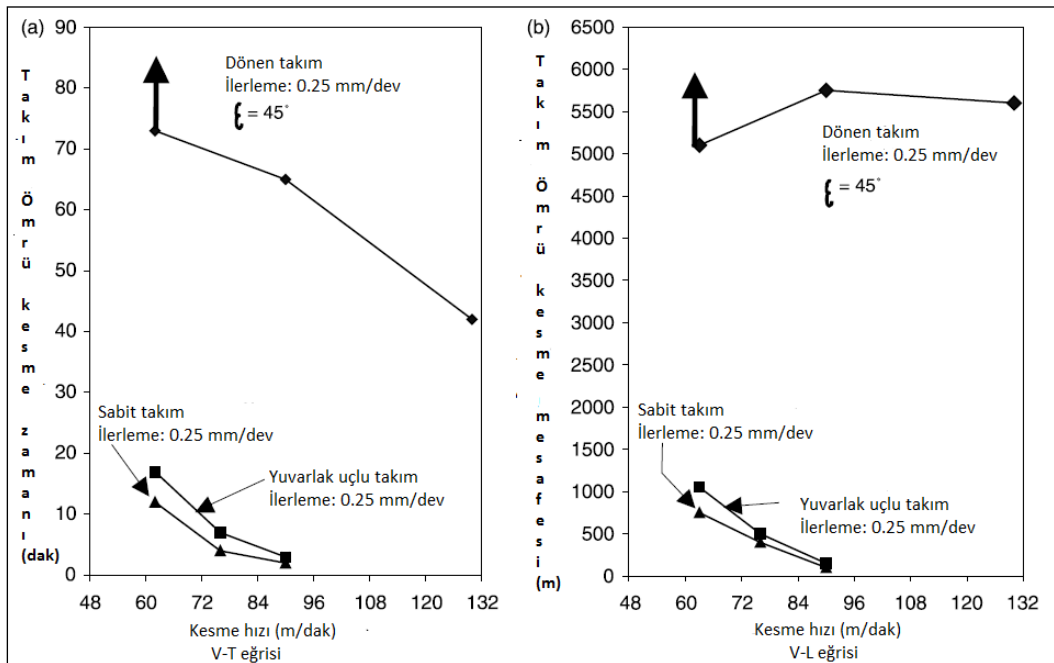
Konvensiyonel talaş kaldırmada olduğu gibi dönen yuvarlak uçlu takımla talaş kaldırma, iş parçası hızının dönen kesici takım kesme kenarına dik olup olmadığına bağlı olarak sırasıyla ortogonal veya oblik olarak sınıflandırılabilir. Sürücü tahrikli dönen takım hem ortogonal hem de oblik şekilde olabilir; fakat kendinden dönen takım kendi ekseninde hareket etmesi için kesici kenarın kesme hızına bir oblik açı gerekmektedir. Uçun ekseninde dönmesi kesme kuvvetleri ve talaş yüzeyindeki talaş akışından kaynaklanmaktadır. Yani eğim açısının, takımın dönmesi için sıfır olmaması gerekmektedir. Uçun dönme ekseninde ile kesme hızı arasında bir eğim açısı olmalıdır. Bu durumun aksi olduğunda, yani uçun dönme ekseninde iş parçası hızına paralel olduğunda (iş parçası hızı kesici kenara dik, ortogonal) takım talaş akışı etkisi ile dönmeyecektir.

Dönen kesme işleminin bir özelliği de kesme sıcaklığındaki azalmadır. Talaşlı imalatla takım-talaş arayüzündeki sıcaklık ısının oluşumu ve yayılması arasındaki dengeye bağlıdır. Konvensiyonel kesme işleminde harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür. Dönen yuvarlak uçlu takımla kesme işleminde ise takımın dönmesi için bir

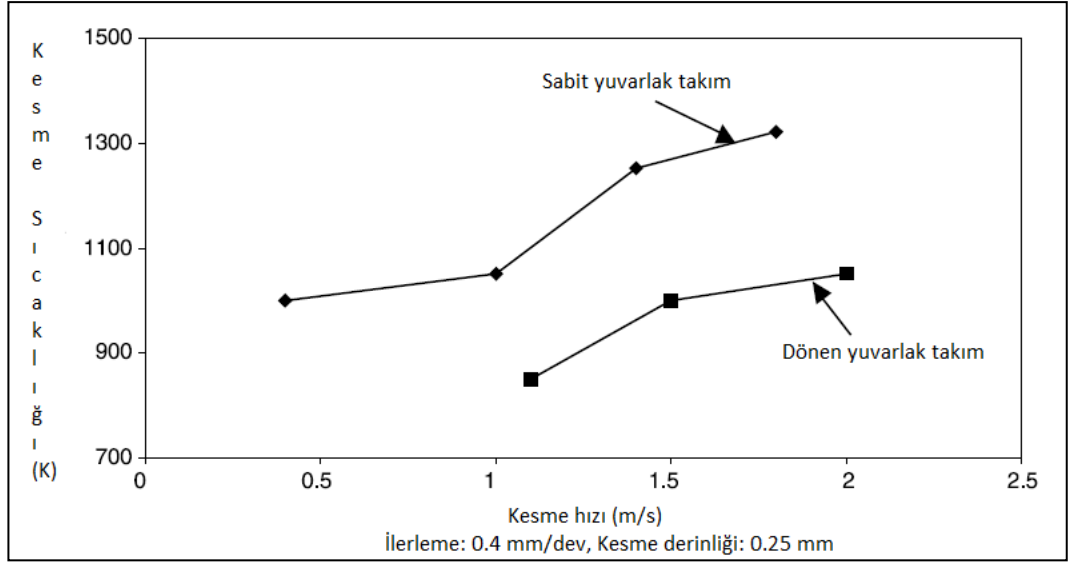
miktar enerji gereklidir ve kalan kısım kinetik enerjiye dönüşür, bundan dolayı ısı oluşumu azalır [53].

Dönen yuvarlak uçlu takımların rijit bir şekilde tasarlanıp uygulanması halinde temel faydaları şunlardır:

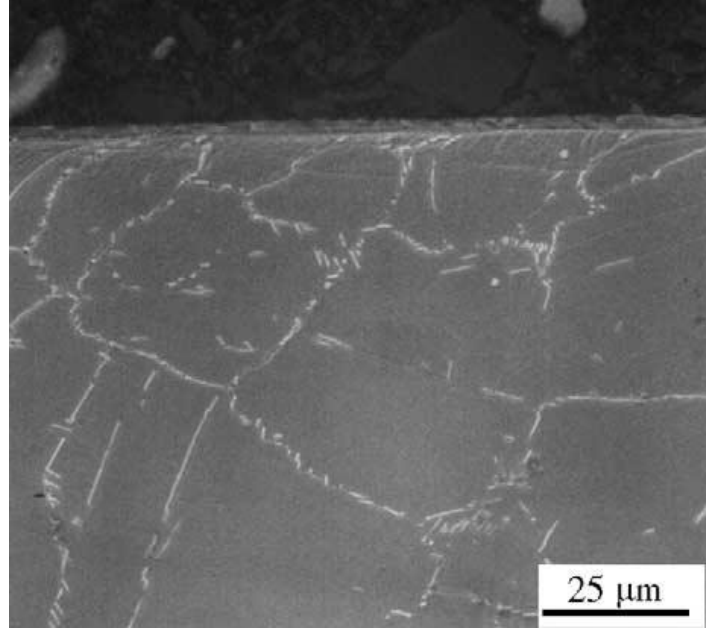
- Takım ömrünü artıracak faydaları vardır. Aynı malzemeden konvensiyonel takımla karşılaştırıldığında literatürde birkaç yüz kat daha takım ömrü artışı olduğundan bahsedilmiştir (Şekil 3.2) [54].
- Düşük kesme sıcaklıkları sağlar (Şekil 3.3) [54].
- İşlenebilirlikte gelişme sağlar. Özellikle işlenmesi zor malzemelerden titanyum ve nikel bazlı malzemelerin ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde [54].
- Birim zamanda kaldırılan talaş miktarını artırır [54].
- Takım mili montajında yeterli düzeyde rijitlik sağlandığında çok iyi işlenmiş yüzeyler elde edilebilir [54].
- Eğer takım bağlantısının rijit bir şekilde olması sağlanırsa kaliteli yüzeyler oluşur (Şekil3.4) [54].



Şekil 3.3 IMI318 malzemenin işlenmesinde kesme hızının bir fonksiyonu olarak takım ömrü [24]



Şekil 3.3 Kesme sıcaklıkları [54]



Şekil 3.4 Dönen uçlu takım ile işleme sonrası Inconel 718 mikroyapısı ( $V=50\text{m/dak}$ ,  $f=0.25\text{mm/dev}$ ,  $a=0.25\text{mm}$ ) [54]

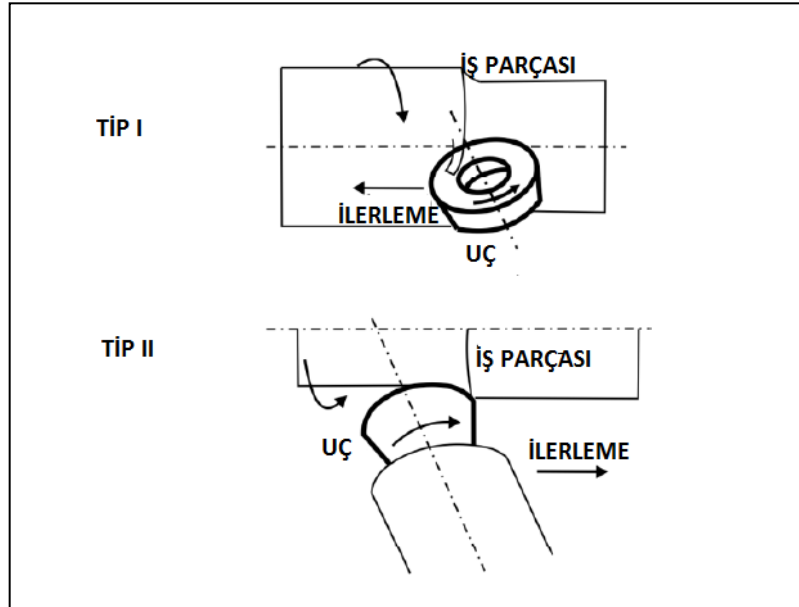
Dönen yuvarlak uçlu takımların, yukarıda bahsettiğimiz tüm bu faydaları, imalat endüstrisinde uygun bir şekilde kullanıldığında gelişmiş işleme kalitesi ve ekonomik kazançlar sağlayacaktır.

Dönen uçlu talaş kaldırmada kesme ve radyal kuvvetler, takımın talaş yüzeyinde düşük sürtünmeden ve talaş oluşumunda iş miktarının azalmasından dolayı, konvansiyonel tornalamada elde edilen kuvvetlere göre daha düşüktür. Eğim açısındaki artış dönme

hızını arttırdığından dolayı kesme kuvvetini düşürürken, ilerleme kuvvetini, yüksek eğim açılarında ilerleme direncinin artmasından dolayı artırır [54].

### 3.2 Geometri

Geometrik açıdan dönen yuvarlak uçlu kesici takımlar kesik bir koni şeklindedir. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, farklı oryantasyonlarda dönen takım tipleri vardır. Tip I ile gösterilen takımda talaş yüzeyi olarak koninin taban kısmı kullanılır. Tip II olarak gösterilen takımda ise kesici takım dik olarak konumlandırılmıştır ve talaş yüzeyi olarak koninin çevresel yüzeyi kullanılır. Her iki durumda da kesici uç daireseldir. Birçok çalışmada takımın talaş yüzeyi ucun dönme eksenine dik bir düzlem olarak düşünülerek tasarlanır.



Şekil 3.5 Farklı oryantasyonlarda dönen yuvarlak uçlu takım tipleri [51]

### 3.3 Dönen Yuvarlak Uçlu Takımların Sınıflandırılması

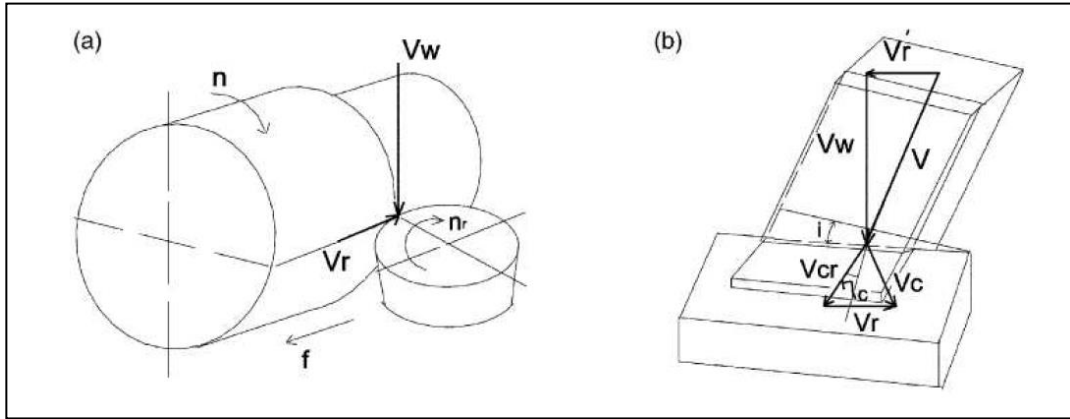
Temel olarak dönen takımlar ikiye ayrılmaktadır:

- Sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takım
- Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım

Bunun dışında dönen yuvarlak uçlu takımların birçok tipi ve modeli geliştirilse de genel olarak üç kategoride sınıflandırılırlar:

- Sürücü tahrikli ortogonal kesen
- Sürücü tahrikli obliq kesen
- Kendinden dönen obliq kesen

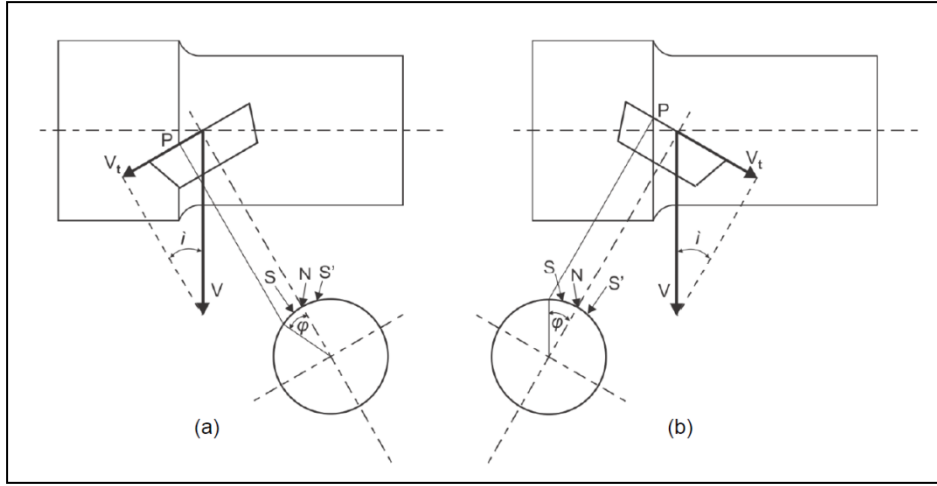
Sürücü tahrikli dönen takımda kesici uç bağımsız dışarıdan bir güç kaynağı ile döndürülür, örneğin bir motor ile. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi yuvarlak uçlu takımın eksenini ile iş parçasının eksenini paralel ise (iş parçası hızı ile takım kesme kenarı arasındaki açı sıfıra eşit) ortogonal; değilse obliq olarak isimlendirilir.



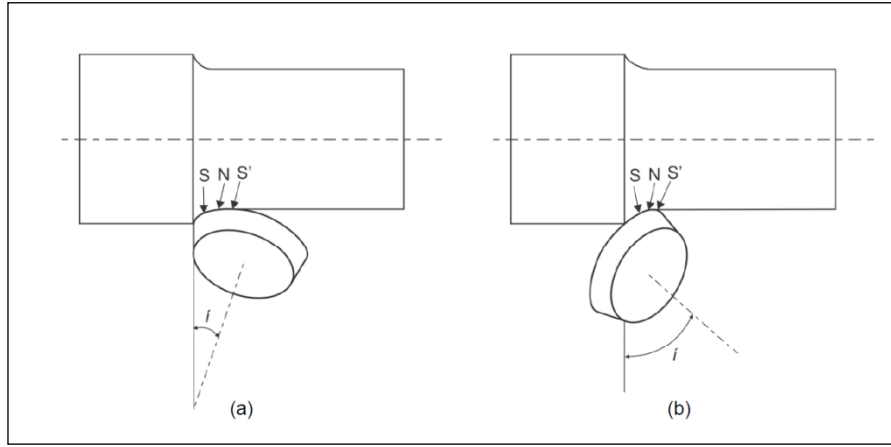
Şekil 3.6 Sürücü tahrikli dönen yuvarlak uçlu takımın çalışma prensibi a)Ortogonal  
b)Obliq kesme

Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım, kesme kuvvetleri ve talaş oluşumu ile kendi eksenini etrafında kendi kendine dönebilir. Takımın dönebilmesi için eğim açısının sıfır olmaması gerekir. Bu nedenle bu tip takım ile sadece obliq formda işlemler yapılmaktadır.

İki tip obliq kesen kendinden dönen takım vardır. Şekil 3.7'de gösterildiği gibi Tip 1 olan takımında disk şeklindeki ucun üst yüzeyi takım talaş yüzü ve takımın çevresel yüzeyi de serbest yüzey olarak kullanılır. Tip 2 olan takımında talaş yüzeyi olarak çevresel yüzey ve serbest yüzey olarak da üst yüzey kullanılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 Tip 1 dönen kesici takım a) Pozitif eğim açısı b) Negatif eğim açısı [51]



Şekil 3.8 Tip 2 dönen takım a) Pozitif eğim açısı b) Negatif eğim açısı [51]

Eğim açısı ( $i$ ) dönen kesme performansını etkileyen en önemli faktördür. Yuvarlak uçlar yay şeklinde kesici kenara sahip olduğu için, farklı noktalardaki teğetler takım referans düzlemine farklı açılardadır. Eğim açısı takım referans düzlemi ve takım ucunun kesici kenarı arasındaki açı olarak belirlenir. Dairesel kesici kenarın belli bir takım ucu yoktur ve kesici kenar açısı kesme kenarı boyunca değişir. Şekillerde gösterildiği gibi takım ucu burada kesici kenarın sıfır (N noktası) olduğu noktaya denk gelir. Normal/ters kesme veya normal/ters ilerleme talaş akış yönüne, takım dönmesine veya ilerleme hareketine dayalı olarak kullanılan yaygın ifadelerdir. Takım ucu majör ve minör kesici kenar olmak üzere iki kesici kenara ayrılır. Majör kesici kenar (S) ve minör kesici kenar (S') şekilde gösterilmiştir. Takım ucu majör kesici kenarda en yüksek noktada olduğu zaman eğim açısı pozitif, aksi halde eğim açısı negatif olarak söylenir (Şekil 3.8) [54].

### 3.4 Dönen Yuvarlak Uçlu Takımın Ömrünü Etkileyen Faktörler

#### 3.4.1 Takım Dönme Hareketi

Kesme işlemi boyunca, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın dönmesi doğal olarak gerçekleşir. Bunun sonucunda da takım-talaş arayüzünde düşük sıcaklık, düşük basınç ve düşük kayma hızı oluşur. İşleme boyunca dönen takımın kesici kenarının sürekli hareketinden dolayı, boşta hareketleri minimuma indirerek uygun kesme yolu oluşturarak kesme yolunu kısaltır. Böylece kesici takım ömrü konvensiyonel sabit yuvarlak uçlu takımlara göre artmış olur [54].

#### 3.4.2 Takım Geometrisi

Kenar eğim açısındaki artış, relatif kesme hızını ( $V_r$ ), relatif talaş akış hızını ( $V_{cr}$ ), güç tüketimini, kesme sıcaklığını, talaş oluşum miktarını ve kesme kuvvetlerini azaltmaktadır. Bu faktörler takım aşınma direncini etkilemektedir. Kenar eğim açısının, dönen takımlarda takım ömrü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Örneğin, relatif kesme hızından dolayı eğim açısının  $15^\circ$ 'den  $30^\circ$ 'ye artmasıyla yüksek kesme hızında (240m/dak) takım ömründe %72 artış ve eğim açısı  $45^\circ$ 'ye ayarlandığında takım ömründe %145 artış olduğu belirtilmiştir [9]. Takım ömründeki yüzde gelişme ( $K_r$ ) eğim açısının değişmesinden dolayı şu şekilde ifade edilebilir:

$$K_r = \frac{V}{V_r} = \frac{1}{\cos i} \quad (3.1)$$

Buna karşın, eğim açısındaki artış eğimli kesici kenar boyunca efektif çalışma açılarının değişimine sebep olabilir. Eğim açısı arttığında kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın dönme hızı arttığı için problemler meydana gelebilir. Takım aşınmasında eğim açısının etkisi bu iki zıt etkidenden meydana gelir.

Kullanılan yuvarlak uç çapı, dönen takımlarda takım aşınması üzerinde birçok etkiye sahiptir. En önemlisi dönen yuvarlak uçlu takımın takım aşınması ucun çevresel kesici kenarı etrafında yayılmıştır. Bundan dolayı, büyük çaptaki uçlar uzun kesici kenara sahip olacaklar ve takım aşınmasını azaltacaklardır. İkincisi, takım çapındaki artış, takım-iş parçası temas yayı tarafından takım temas çizgisini azaltacaktır ve böylece temas yayı boyunca çalışma açısındaki değişim azalacaktır. Bu durum takım dönme

hızını yavaşlatır, gerilim ve gerinim dalgalanmasını düşürür ve takım aşınma eğilimini azaltır. Üçüncü olarak, büyük çaptaki uç titreşimi kolaylıkla azaltabilir. Dördüncü olarak uç üzerindeki talaş ve boşluk açıları; kesici kenardaki ısı kapasitesini ve serbest yüzey ile işlenmiş yüzey arasındaki sürtünmeyi etkiler. Bütün bu etkenler kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın ömrünü etkilemektedir [54].

### **3.4.3 Takım Yatak Sistemi**

Yataklarda sürtünmedeki artış, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın eşdeğer eğimini artırmaktadır. Bundan dolayı bağıl kesme hızı ( $V_r$ ) ve bağıl talaş akış hızı ( $V_{cr}$ ) yükselir. Bunlara bağlı olarak kesme sıcaklıkları ve enerji tüketimi de artar. Bütün bunlar takım aşınmasını hızlandırmaktadır [54].

### **3.4.4 Takım Aşınma Mekanizmaları**

Talaş birikimi ve serbest yüzey aşınması dönen takımlarla işlemede en belirgin hata türleridir. Abrasyon aşınma mekanizması kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile yüksek işleme şartlarında yaygındır. Yumuşak talaş parçaları takım yüzeyine yapışmaya eğilimlidir.

Oksit filmleri, dönen yuvarlak uçlu takımın kesme kenarı kısa bir süre çalışıp daha sonra uzun bir müddet hava ile temas halinde kaldığı için, sabit uçlu takıma nazaran daha fazla oluşur. Bu oluşan oksit filmleri dönen uçlu takımın iş malzemesinin adezyonundan koruyabilir. Ayrıca oksit filmleri takımın difüzyon aşınmasını da önler.

Dönen yuvarlak uçlu takımlarda yorulma aşınması, takım kenarının kararsız bir şekilde ısınma ve soğumasına neden olur. Bunun sonucu olarak dairesel karbür uçlarla uzun işlemlerde dönen takımlarda termal çatlaklar görülebilir. Bu çatlakların sayısı ve uzunluğu kesme zamanı ile doğrusal olarak artar. Bu çatlaklar sonuç olarak kesme kenarının çatlamasına sebep olabilir [51].

## **3.5 Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Talaş Kaldırmada Uygulaması**

Eğim açısı  $90^\circ$ 'ye ayarlandığı zaman, kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın bağıl kesme hızı ( $V_r$ ) sıfır olur. Yani kesici takım ile iş parçası arasında temas noktasında

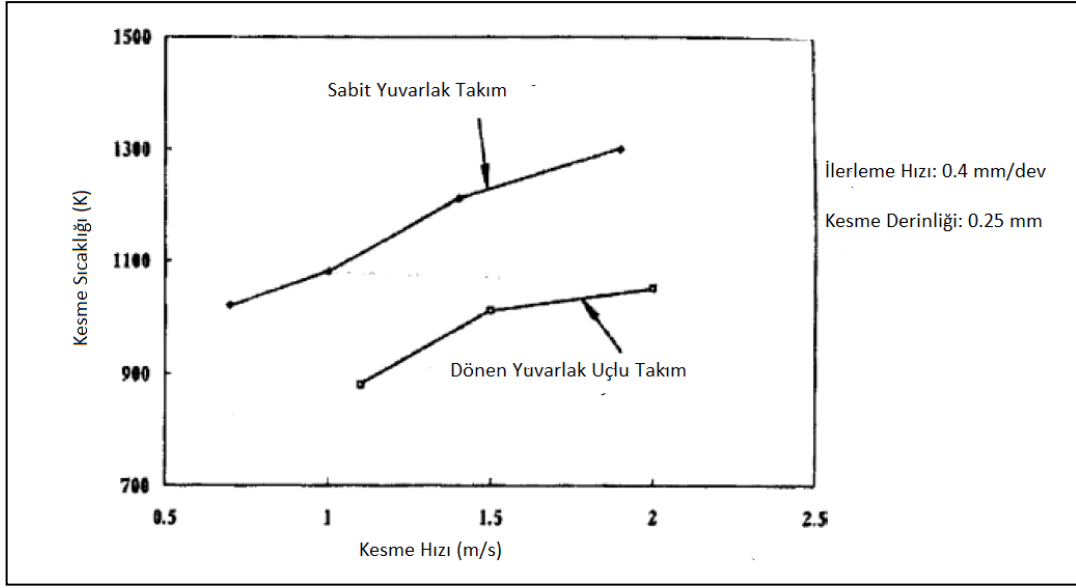
hiçbir bağıl hareket yoktur. Teorik olarak bu durumda kesme hareketi gerçekleşmez. Bu nedenle kenar eğimi haddinden fazla bir şekilde arttırılamaz. Kesici kenar negatif eğime sahip olduğunda (Şekil 3.8b), ilerleme hareketi boyunca talaş yüzeyi serbest yüzeyin arkasından gelir. Bu nedenle maximum kenar eğimi serbest yüzey ile iş parçasının geçici yüzeyinin kesişimi tarafından sınırlandırılır. Kendinden dönen takımda kesici takım ucunu döndürmek için kenar eğiminin minimum değeri gereklidir. Minimum kenar eğim değeri önceki çalışmalarda 2.5-7.5° ve maksimum değer 72° olarak tavsiye edilmiştir [54].

Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarda kesme hızı, kesici takım malzemesine, iş parçası malzemesine ve beklenen takım ömrüne göre seçilir. İlerleme hızı genellikle istenilen yüzey pürüzlülüğüne göre aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir:

$$S = 2 \cos \varepsilon \sqrt{(dtR_{max})} \quad (3.2)$$

Burada s ilerlemeyi,  $\varepsilon$  eğim açısını,  $R_{max}$  yüzey pürüzlülüğünü göstermektedir. Çok küçük bir ilerleme hızı titreşime neden olabilir ve uygulamada işlenmiş yüzeyleri bozabilir. Bundan dolayı uygun bir yüzey elde edebilmek için ilerleme hızının uygun değerde olması gerekir. Döner yuvarlak uçlu takımların formu dairesel disk şeklinde olduğu için takım-iş parçası temas yayı uzundur ve bu nedenle büyük kesme kuvvetleri oluşur. Aynı zamanda konvansiyonel paralelkenarlı/kare şeklinde uçlarla karşılaştırıldığında titreşim eğilimleri daha güçlüdür. Kesme derinliğinin temas yayının uzunluğuna da etkisi vardır.

Kesme sıcaklığının, döner yuvarlak uçlu kesici takım ile işlemede takım ömrüne ve yüzey kalitesine önemli etkileri vardır. Kesme sıcaklığı kendinden döner yuvarlak uçlu takım ile işlemede kesme hızının ve kenar eğim açısının bir fonksiyonudur. Eğim açısındaki artış düşük kesme sıcaklıkları sağlar. Bunun nedeni takımın dönme hızındaki artıştan dolayı takım boyunca kesici kenardaki ısı transferinin artması ve takımın talaş yüzeyinde deformasyon ve sürtünme için yapılan iş miktarındaki azalmadır. Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızının artması konvansiyonel tornalamada olduğu gibi kesme sıcaklığında artışa neden olur. Kendinden döner yuvarlak uçlu takımlarla yapılan çalışmalarda sabit dairesel uçlu takımlara göre 50-150°C daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir (Şekil 3.9). Sıcaklık farkı büyük oranda eğim açısı ile ilgilidir [54].



Şekil 3.9 Kesme Sıcaklıkları [54]

### 3.6 Yüzey Kalitesi

Dönen yuvarlak uçlu takımlarda ilerleme hızındaki artış daha iyi yüzey kalitesi meydana getirir. 10°'den küçük eğim açısında en iyi yüzey kalitesi elde edildiği literatürde söylenmektedir [54]. Kesme hızının dönen takımla işlemede etkisi ihmal edilebilir [54].

### 3.7 Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Talaşlı İşlemeye Ait Sorunlar

Dönen takımlar ile yapılan uygulamalarda bazı problemler vardır. İmalat endüstrisinde aşağıdaki durumlardan dolayı dönen takımların uygulamasında kısıtlamalar olabilir:

- Dönen parçalar her ne kadar hassas ve doğru bir şekilde üretilse bile, sabit takımlara göre dönen takımların kesici kenar hareketi daima daha fazla hatalar meydana getirir,
- Dönen sistemlerin zayıf rijitliği ve büyük çaptaki kesici takımlardan dolayı şiddetli titreşimler meydana gelebilir,
- Kademeli iş parçaları dönen takımlar ile imal edilemez [54].

### 3.8 Döner Yuvarlak Uçlu Takımların Yapısı

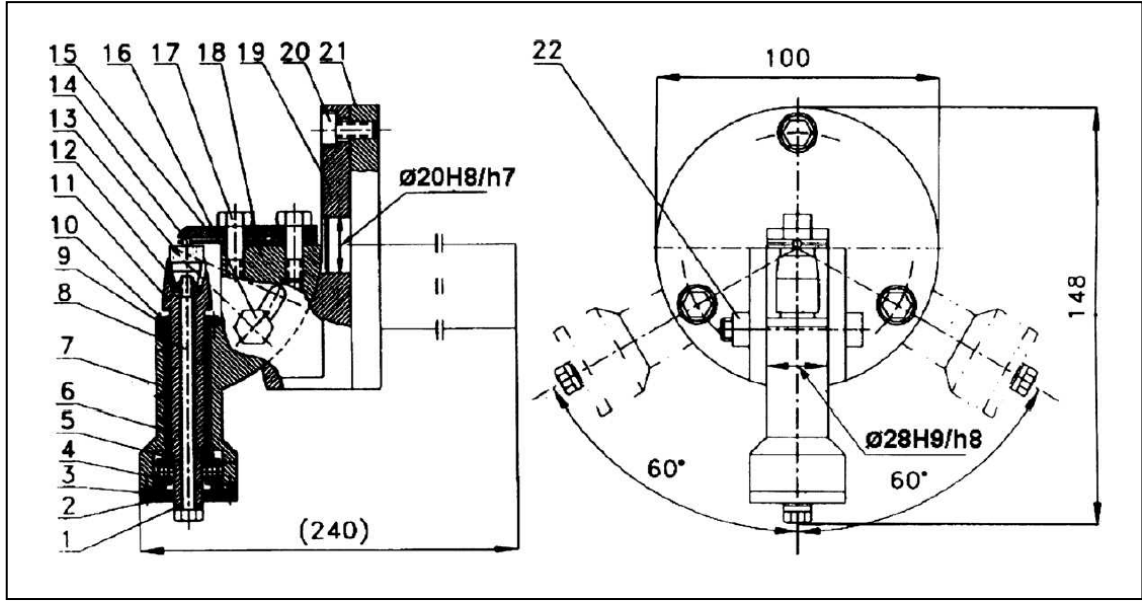
Döner yuvarlak takımların tasarımı sabit takımlardan farklı olduğu için aşağıdaki şu faktörlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Takım yapısı azami ölçüde basit bir şekilde olmalıdır,
- Takım yapısı sağlam, dayanıklı, rijit, hassas olmalı ve kolay bir şekilde bakımı sağlanmalıdır,
- Takım montajı standart torna takımı tutucusuna uygun olmalıdır [54].

Takım geometrisi olabildiğince fazla kesme derinliği, ilerleme hızı, en üstün yüzey kalitesi, düşük bağıl kesme hızı ( $V_r$ ) ve düşük kesme sıcaklığını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Aşırı büyük uç yarıçapı kullanmak, yataklardaki aşırı boşluklar ve dairesel kesici kenarın eksantrikliği işleme sırasında titreşimlere sebep olabilir. Bu problem, mümkün olduğunca küçük çapta kesici uç kullanarak, eğim açısının artışı ile ve yuvarlak ucun eksantrikliğinin azaltılmasıyla ortadan kaldırılabilir. Kuvvet ve yatak sisteminin tasarımında en önemli husus, yatakların minimum eksantriklik ve düşük sürtünme ile yüksek kesme hızlarına ve yüksek radyal ve itme kuvvetlerine dayanıklı olmasıdır [54].

Döner yuvarlak uçlu takım tutucusunun yapısal tasarımında döner kesici kenardan oluşan hatalar ve büyük radyal kuvvetten meydana gelen titreşimler dikkate alınacak iki önemli problemdir. Yataklardaki çalışma düzgünlüğü ve hassasiyetine ilaveten, takım tutucusunun rijitliği de takım tasarımında düşünülmesi gereken diğer bir faktördür. Döner yuvarlak uçlu takımın tutucusu, ayarlanabilir geometriye sahip olmak zorundadır. Çünkü döner kesici takımların geometrisinde özellikle eğim açısı takım performansında önemli bir etkiye sahiptir.

Bu özelliklere bağlı olarak önceki çalışmalarda tasarlanmış kendinden döner yuvarlak uçlu bir kesici takım Şekil 3.10'da gösterilmiştir [54].



Şekil 3.10 Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım [54]

Çizelge 3.1 Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın yapısı

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1,5-Pullar              | 12-Bilezik              |
| 2,10,16,17,20-Cıvatalar | 13-Kesici uç            |
| 3,9- Yatak kapakları    | 14-Kilit bilyası        |
| 4-Bilyeli aksenal yatak | 15-Üst kelepçe          |
| 6-İğneli rulman yatak   | 18-Takım gövdesi        |
| 7-Yatak manşonu         | 19-Eğimli sap           |
| 8-Vida gövdesi          | 20-Takım cıvata gövdesi |
| 11-Mil                  | 22- Kilitleme somunu    |

### 3.9 Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Kinematığı

Sabit, hareketsiz takımlarda olduğu gibi bir dönen takım prosesinde de iki hareket önemlidir:

- Kesme hareketi, iş parçasının devir sayısı ( $N_w$ ).

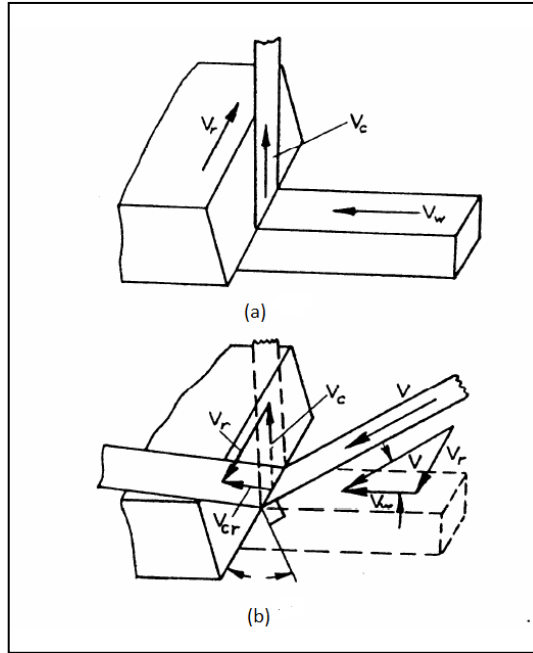
- Parça üzerinde takımın ilerleme hareketi(f).

Dönen takımın ana özelliği kesici takımın da dönmesidir. Bu nedenle bu işlemde üçüncü bir hareket olarak takım ucunun dönmesi, dolayısıyla takım ucunun devir sayısı(Nr) önemlidir. Bunlar talaş oluşum prosesinin kinematiği ve mekaniği ile alakalıdır. Kesici takımın dönüşü talaş akış hız vektörünü değiştirir. İlerleme hızının ( $V_f$ ) etkisi  $V_w$  ve  $V_r$  kesme hızlarından çok daha küçük olduğu için göz önünde tutulmayabilir. Bu nedenle farklı hızlar arasında aşağıdaki hız bağıntıları türetilebilir.

$$V = V_w - V_r \quad (3.3)$$

$$V_{cr} = V_c - V_r \quad (3.4)$$

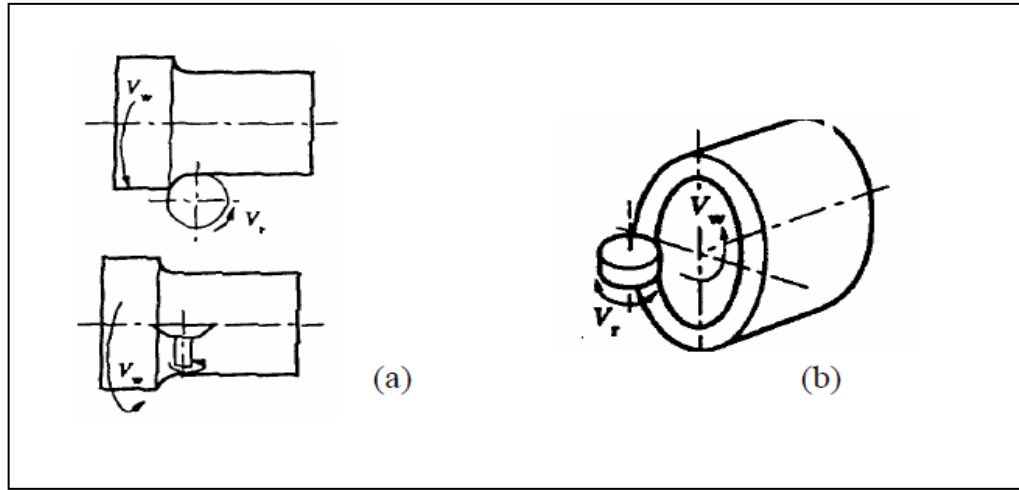
Takım mekanizmasında, Şekil 3.11’de gösterildiği gibi takım yarıçapının diğer geometrik parametreler ile karşılaştırıldığında büyük olduğu için kesici kenar düz bir çizgi olarak varsayılabilir.



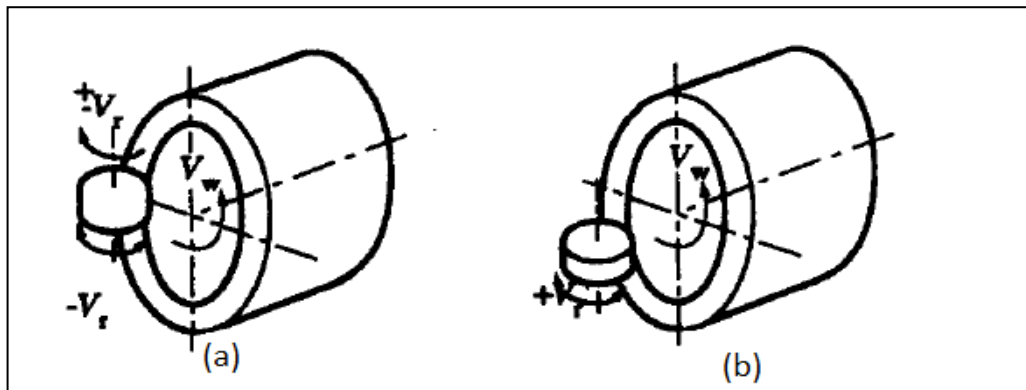
Şekil 3.11 Sabit bir noktadan gözlemlenen dönen kesici ucun kesme prosesi a)Uzayda  
b)Takım üzerinde [10]

Önceki bölümde de bahsedildiği gibi dönen takım prosesleri sürücü tahrikli ortogonal işlem, sürücü tahrikli obliğ işlem ve kendinden dönen obliğ işlem olmak üzere üç kısımda sınıflandırılabilir. Eğer kesme hızı ( $V_w$ ) ile normal düzlem ( $P_n$ ) arasındaki açı (statik eğim açısı  $i_s$ ) sıfır ise ortogonal, değilse obliğ olarak adlandırılır. Sürücü tahrikli

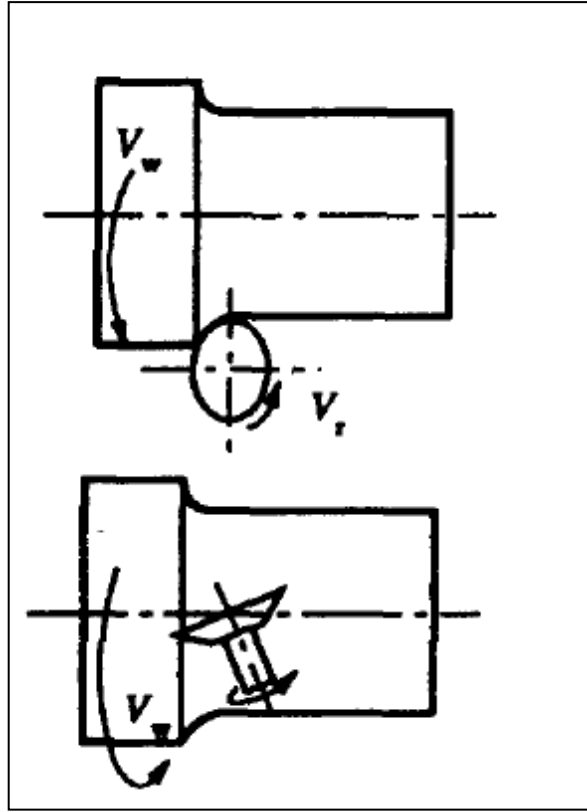
ortogonal işlem için sadece bir yol vardır. Yani takım merkezde olmak zorundadır. Kendinden dönen takım için iki olasılık mevcuttur. Birincisinde takım bir eğim açısına sahiptir. İkinci olarak da takım merkezin üzerinde veya aşağısında ayarlanabilir. Sürücü tahrikli oblig proseste, takıma eğim açısı verilmeyerek merkezin aşağısında veya üzerinde ayarlanabilir. Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te bu farklı durumlar gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Takımın merkezde olduğu sürücü tahrikli ortogonal dönen uçlu takım kesme prosesi [10]



Şekil 3.13 Takımın üstte(a) veya altta(b) olduğu sürücü veya kendinden dönen uçlu takım kesme prosesi [10]



Şekil 3.14 Kendinden dönen uçlu takımlarda oblig kesme [10]

### 3.9.1 Sürücü Tahrikli Döner Yuvarlak Uçlu Takımla Oblig Kesme Prosesi

Şekil 3.13 (a)'da takım merkezin üzerinde ayarlanmış ve saat yönünde hareket eder. Bu durumda  $V_r$  pozitif olarak kabul edilir. Bu nedenle, iş parçası hızı  $V_w$  ve et kalınlığı  $B$  olan iş parçasının kenarları normal düzlem  $P_n'$ 'ye statik eğim açısı ( $i_s$ ) kadar eğimlidir. Bu proses oblig kesme olarak düşünülür. Kesme hızı  $V$  normal düzlem  $P_n'$  ye göre  $i$  eğim açısı ile bağlantılıdır. Sürücü tahrikli oblig operasyon için kesme hızı  $V$  ve eğim açısı  $i$  bağıntıları şu şekilde ifade edilebilir:

$$V = \sqrt{(V_w \cos i)^2 + (V_r + V_w \sin i_s)^2} \quad (3.5)$$

$$\tan i = \frac{V_r + V_w \sin i_s}{V_w \cos i_s} \quad (3.6)$$

$$V_w = V \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.7)$$

$$V_r = V \frac{\sin(i - i_s)}{\cos i_s} \quad (3.8)$$



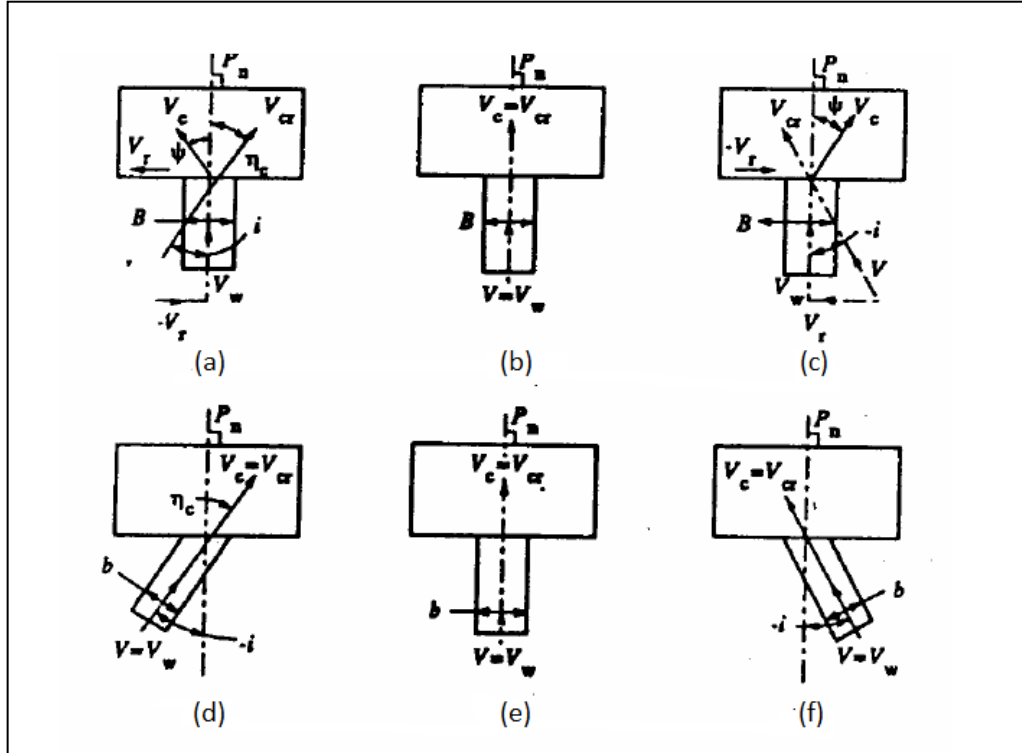
Bu nedenle, kinematik olarak bakıldığında, eğer talaş kaldırma miktarındaki hacim aynı hız ( $V$ ) ve aynı kalınlık ( $t$ ) için eşitse bu iki işlem 'eşdeğer' olarak düşünülebilir ve aşağıdaki denklemler yazılabilir:

$$V_{bt} = V_w B t = V_{bt} \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.9)$$

$$b = B \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.10)$$

### 3.9.2 Sürücü Tahrikli Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Ortogonal Kesme Prosesi

Dönen takım merkezde ayarlandığında yani statik eğim açısı  $i_s$  sıfır olduğunda ve sürücülü olduğu zaman bu proses sürücü tahrikli ortogonal kesme prosesi olarak düşünülür. Mutlak Hız  $V_w$ ,  $P_n$  düzlemine paraleldir; fakat bağıl hız  $V$ ,  $P_n$ 'ye eğim açısı tarafından eğimlidir. Bağıl hızın yönü ve büyüklüğü takım dönme hızı  $V_r$ 'ye bağlıdır. Şekil 3.16'da hem sürücü tahrikli ortogonal dönen takım işlemi ve bunun eşdeğeri klasik ortogonal kesme prosesi  $V_r$  hızının pozitiften negatif değere değişmesi olarak gösterilmiştir. Sürücülü oblig dönen takımda kullanılan denklemler  $i_s=0$  olduğu zaman sürücülü ortogonal işlem için de kullanılır.



Şekil 3.16 Sürücü tahrikli ortogonal işlem ve eşdeğeri klasik ortogonal işlem [10]

Takım merkezde ayarlandığında ve sürücülü olmadığı zaman; fakat kendi eksenini etrafında dönüyorsa, bu takım kendinden döner. Buna karşın Şekil 3.15(b ve e)'de olduğu gibi bu olgu meydana gelmez. Bu durumda sürücü tahrikli ortogonal dönen işlem klasik ortogonal kesme işlemi ile mükemmel bir eşdeğerlik sağlar. Bileşke kuvvet normal düzlemde olur ve kesici kenar boyunca hiçbir yan kuvvet takımı hareket ettiremez. Sonuç olarak, ortogonal dönen takım prosesi bir dış kaynak tarafından hareket ettirilmelidir.

### 3.9.3 Kendinden Dönen Yuvarlak Uçlu Takımla Oblig Kesme Prosesi

Önceki proseslerden farklı olarak, bu işlem kesici takımın dönmesi için oblig olmak zorundadır. Önceden de bahsedildiği gibi kesici takımı hareket ettirmenin bir yolu takımı merkezden aşağı veya yukarı ayarlamaktır. Dönen takımın dönmesi için serbest bırakıldığında ve merkezden yukarı ayarlandığında  $i_s$  statik eğim açısı sıfır olmaz. Kesme hareketi kesici kenar boyunca bir kuvvet oluşturur ve kesici takımı saatin tersi yönünde (negatif  $V_r$ ) hareket ettirir. Takım kesici kenarında herhangi bir yan kuvvet olmadığı zaman denge sağlanır ve dönme hareketi biter. Bu durum Şekil 3.15(d)'de gösterildiği gibi bağıl hız ( $V$ ) kesici kenara dik olduğunda ( $P_n$  düzlemine paralel) ve eğim açısının sıfır olduğu zaman gerçekleşir. Böylece, eşdeğer proses klasik ortogonal işlemi olur. Takım merkezden aşağı ayarlandığında, statik eğim açısı ( $i_s$ ) negatif olur, eğim açısı ( $i$ ) sıfır olur ve takım saat yönünde döner.

Dönen takıma hareket vermek için bir diğer yöntem ise takıma efektif negatif talaş açısı vermektir. Böylece takım saatin tersi yönünde talaş oluşumu sayesinde dönmeye başlar. Takımın bu açılı pozisyonu, takımın merkezden yukarıda ayarlanmış konumuyla benzerdir. Sürücülü oblig dönen takımda kullanılan denklemler  $i_s=0$  olduğu zaman kendinden dönen takımla oblig işlem için de kullanılır.

### 3.10 Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımlarda Temel Kesme Mekanikliği

Dönen takımlarla ilgili birçok çalışma genellikle laboratuvar uygulamaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Dönen takım kesme prosesi ile ilgili Armarego'nun [10] temel çalışması dönen takım mekanikliğinin en iyi bilinen analizidir. Bu çalışmada Armarego sürücü tahrikli oblig dönen kesme işlemini simule ederek eşdeğer oblig kesme gibi ve

kendinden dönen kesme prosesini simule ederek eşdeğer ortogonal kesmeye benzetmiştir. Bu çalışmada deneysel incelemeler de yaparak geliştirilen model doğrulanmıştır.

Bir önceki bölümde, dönen yuvarlak uçlu takımların kinematiğinden bahsederken sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesinin çok kompleks olduğu anlaşılmıştır. Dönen takım operasyonunun bu tipi çok çeşitli durumlar içermektedir. Örneğin, sürücü tahrikli ortogonal dönen takım prosesi için statik eğim açısı  $i_s$  sıfır; kendinden dönen oblig takım prosesi için eğim açısı  $i$  sıfır olmalıdır. Bu nedenle sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesinin kesme mekaniği genel analiz olarak düşünülebilir ve diğer iki tip dönen takım operasyonu da  $i_s$  ve  $i$  açıları kullanılarak bu işleme benzetilebilir [10]. Bu nedenle ilk olarak sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesinin kesme mekaniği verilmiştir.

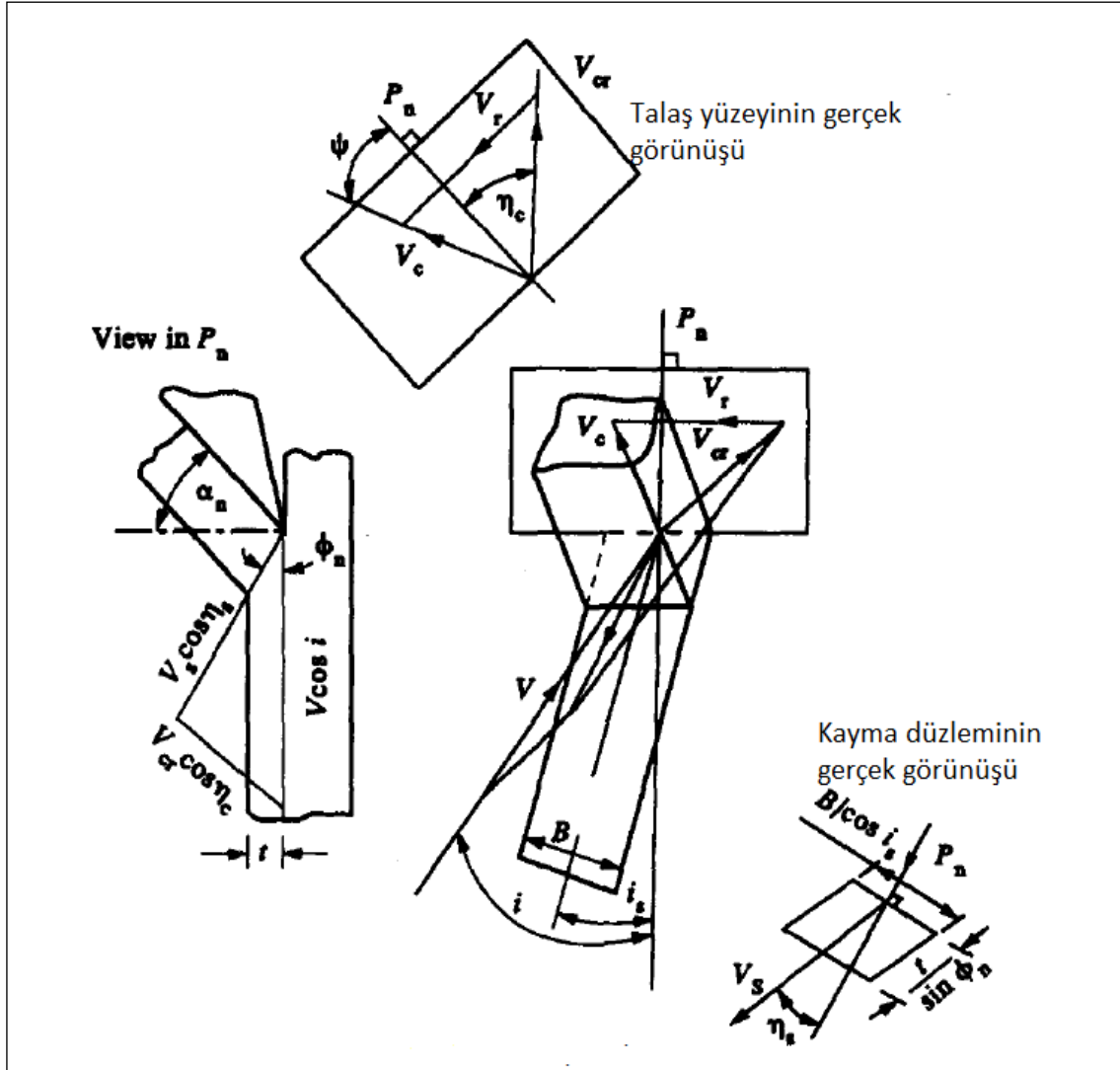
### **3.10.1 Sürücü Tahrikli Oblig Dönen Takım Kesme Mekaniği**

Klasik oblig kesme prosesinde kullanılan varsayımlar ve modifiye edilmiş ince kayma bölgesi modeli, kesme analizinde dönen takım proseslerinde de kullanılmaktadır. Bu varsayımlar şunlardır:

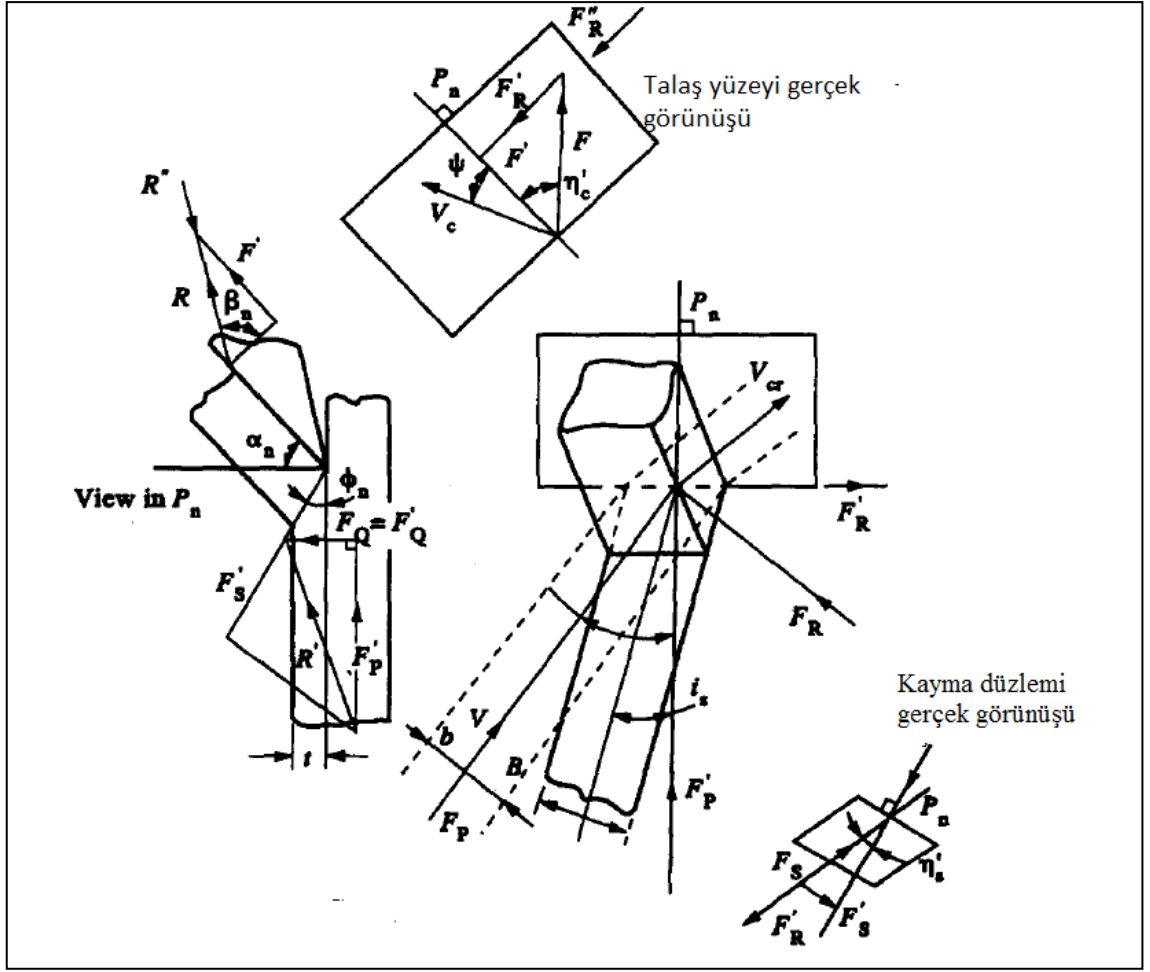
- 1.Sürekli ve düz talaş oluşum biçimi vardır.
- 2.Talaş oluşumu, kayma düzleminde ince bir bölgede kaymaya ve talaş yüzeyinde sürtünmeye sebep olur. Talaş, kayma düzlemi ve talaş yüzeyine etki eden eşit, zıt ve aynı doğrultuda kuvvetlerin etkisi altında dengededir.
- 3.Sürtünme kuvveti  $F$  ve bağıl talaş hızı  $V_{cr}$ 'ye ilaveten kayma kuvveti  $F_s$  ve bağıl kayma hızı  $V_s$ 'de aynı doğrultudadır.
- 4.Kesici kenarda sürtünmeden dolayı oluşan kuvvet, bağıl kesme hızı  $V$  ve kesme genişliği ile orantılıdır.
- 5.Takımın çevresel hızı  $V_r$ 'den dolayı talaş akışı için dönen takım ile kesmede ek bir enerjiye gerek duyulmaz.

Sürücü tahrikli oblig dönen kesme işlemi için ince kayma bölgesi analizi mutlak deformasyon geometrisi, hızlar ve kuvvet ilişkileri ile Şekil 3.17'de gösterildiği gibi

geliştirilebilir. Bu modelde proses kuvvetlerin, gücün ve  $V_r'$ 'den dolayı talaş akışı ile birlikte bağıl talaş akış yönünün belirlenmesi için sabit bir takıma ilişkin deformasyon işlemi olarak düşünülmektedir. Şekil 3.17'de, talaş akış ve kayma açıları ( $\eta_c$ ,  $\psi$ ,  $\eta_s$ ,  $\phi_n$ ) ve takım geometrisi arasındaki ilişkilerden ve mutlak, bağıl talaş uzunluğu ve talaş kalınlık oranları ( $\alpha_n$ ,  $i$ ,  $r_1$ ,  $r_{1r}$ ,  $r_t$ ) arasındaki ilişkilerden elde edilen mutlak deformasyon geometrisi ve ilgili hızlar gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Sürücü tahrikli oblig dönen takım kesme modeli(deformasyon ve hızlar) [10]



Şekil 3.18 Sürücü tahrikli oblig dönen takım kesme modeli (deformasyon ve kuvvetler) [10]

Armarego Şekil 3.17'deki geometriden, talaş yüzeyi, normal düzlem ve kayma düzlemindeki mutlak ve bağıl hızlar, talaş akışı ve 3.5-3.9 denklemlerinden Armarego deneysel olarak da kanıtlanmış aşağıdaki denklemleri türetmiştir.

$$B_c = B \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \quad (3.11)$$

$$r_t = r_1 \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \quad (3.12)$$

$$r_t = r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i} \quad (3.13)$$

$$\tan \eta_c = \frac{\sin(i - i_s)}{r_t \cos i \cos i_s} - \tan \Psi \quad (3.14)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_t \cos \alpha_n}{1 - r_t \sin \alpha_n} \quad (3.15)$$

3.11 ve 3.13 denklemlerinden,  $\phi_n$  için aşağıdaki iki denklem türetilir.

$$\tan \phi_n = \frac{r_1 \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \cos \alpha_n}{1 - r_1 \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \sin \alpha_n} \quad (3.16)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i_s} \cos \alpha_n}{1 - r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i_s} \sin \alpha_n} \quad (3.17)$$

Kayma akış açısı ( $\eta_s$ ) da şu şekilde çıkartılır.

$$\tan \eta_s = \frac{\tan i \cos(\phi_n - \alpha_n) - \sin \phi_n \tan \eta_c}{\cos \alpha_n} \quad (3.18)$$

Mutlak talaş uzunluk oranı  $r_1$  deneysel olarak ölçülebilir ve mutlak talaş hızı  $V_c$ 'nin mutlak iş parçası hızı  $V_w$ 'ye oranıdır:

$$r_1 = \frac{l_c}{l} = \frac{V_c}{V_w} \quad (3.19)$$

Fakat bağlı talaş uzunluk oranı  $r_{1r}$ , dönen takım prosesi için talaş ve iş parçası uzunluğundan ölçülemez; ama şu şekilde verilebilir:

$$r_{1r} = \frac{V_{cr}}{V} \quad (3.20)$$

Şekil 3.18'de  $F_p$ ,  $F_Q$ ,  $F_R$  kuvvet bileşenlerine ilaveten talaş düzlemi, kayma düzlemi ve normal düzlemlerdeki ilgili kuvvetler gösterilmiştir. Yukarıda bahsettiğimiz ikinci varsayımı kullanarak da şekil 3.17'de talaş eşitliği aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.

$$\tan \beta_n = \tan \beta \cos \eta_c' \quad (3.21)$$

$$\tan \eta_s' = \frac{\tan \eta_c' \sin \beta_n}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n)} \quad (3.22)$$

$$F_p = \tau B t \cos i \frac{\cos(\beta_n - \alpha_n) + \tan \eta_c' \sin \beta_n \tan i}{M \sin \phi_n \cos i_s} \quad (3.23)$$

$$F_Q = \tau B t \frac{\sin(\beta_n - \alpha_n)}{M \sin \phi_n \cos i_s} \quad (3.24)$$

$$F_R = \tau B t \cos i \frac{\cos(\beta_n - \alpha_n) \tan i - \tan \eta_c' \sin \beta_n}{M \sin \phi_n \cos i_s} \quad (3.25)$$

$$M = \sqrt{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n)^2 + \tan \eta_c^2 \sin \beta_n^2} \quad (3.26)$$

Talaş yüzeyinde sürtünme kuvveti  $F$  ve bağıl talaş hızı  $V_{cr}$  arasındaki doğrusallık ve kayma düzleminde  $F_s$  ve  $V_s$  arasındaki doğrusallıktan dolayı 3.18 ve 3.22 denklemleri eşitlenirse şu yeni denklem meydana gelir:

$$\tan(\phi_n + \beta_n) = \frac{\tan i \cos \alpha_n}{\tan \eta_c - \sin \alpha_n \tan i} \quad (3.27)$$

Özetlenirse, pratik kuvvet bileşenleri fonksiyonel form olarak şu şekilde yazılabilir:

$$F_p, F_Q, F_R = \text{Fonksiyon}(\alpha_n, i, i_s, B, \tau, \phi_n, \beta) \quad (3.28)$$

Burada  $i$  değerinin yerine  $V_w$  veya  $V_r$ ;  $\phi_n$  yerine de  $r_{1r}$  veya  $r_1$  kullanılabilir. Bu son form kayma ve sürtünmeden dolayı pratik kuvvet bileşenlerini tahmin etmek için  $B$ ,  $t$ ,  $\alpha_n$ ,  $i_s$  ve  $i$  verildiğinde ve  $\tau$ ,  $\phi_n$ ,  $\beta_n$  bilindiğinde faydalı bir metottur.

Dördüncü varsayımda belirtildiği gibi, birim kesme genişliği başına kenar kuvvet katsayılarının  $K1_p$ ,  $K1_Q$ ,  $K1_R$ , toplam kuvvet bileşenleri  $F_{Pt}$ ,  $F_{Qt}$ ,  $F_{Rt}$  'nin bulunabilmesi için bilinmesi gereklidir.

$$F_{Pt} = F_p + F_{pe} = F_p + K1_p B \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.29)$$

$$F_{Qt} = F_Q + F_{Qe} = F_Q + K1_Q B \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.30)$$

$$F_{Rt} = F_R + F_{Re} = F_R + K1_R B \frac{\cos i}{\cos i_s} \quad (3.31)$$

Sürücü tahrikli oblig dönen kesme prosesinde dönen kesici ucu ve iş parçasını hareket ettirecek  $P$  gücü şu şekilde hesaplanır:

$$P = F_{Pt} V \quad (3.32)$$

$$U = \frac{P}{BtV_w} = \frac{F_{Pt}V}{btV} = \frac{F_{Pt}}{bt} \quad (3.33)$$

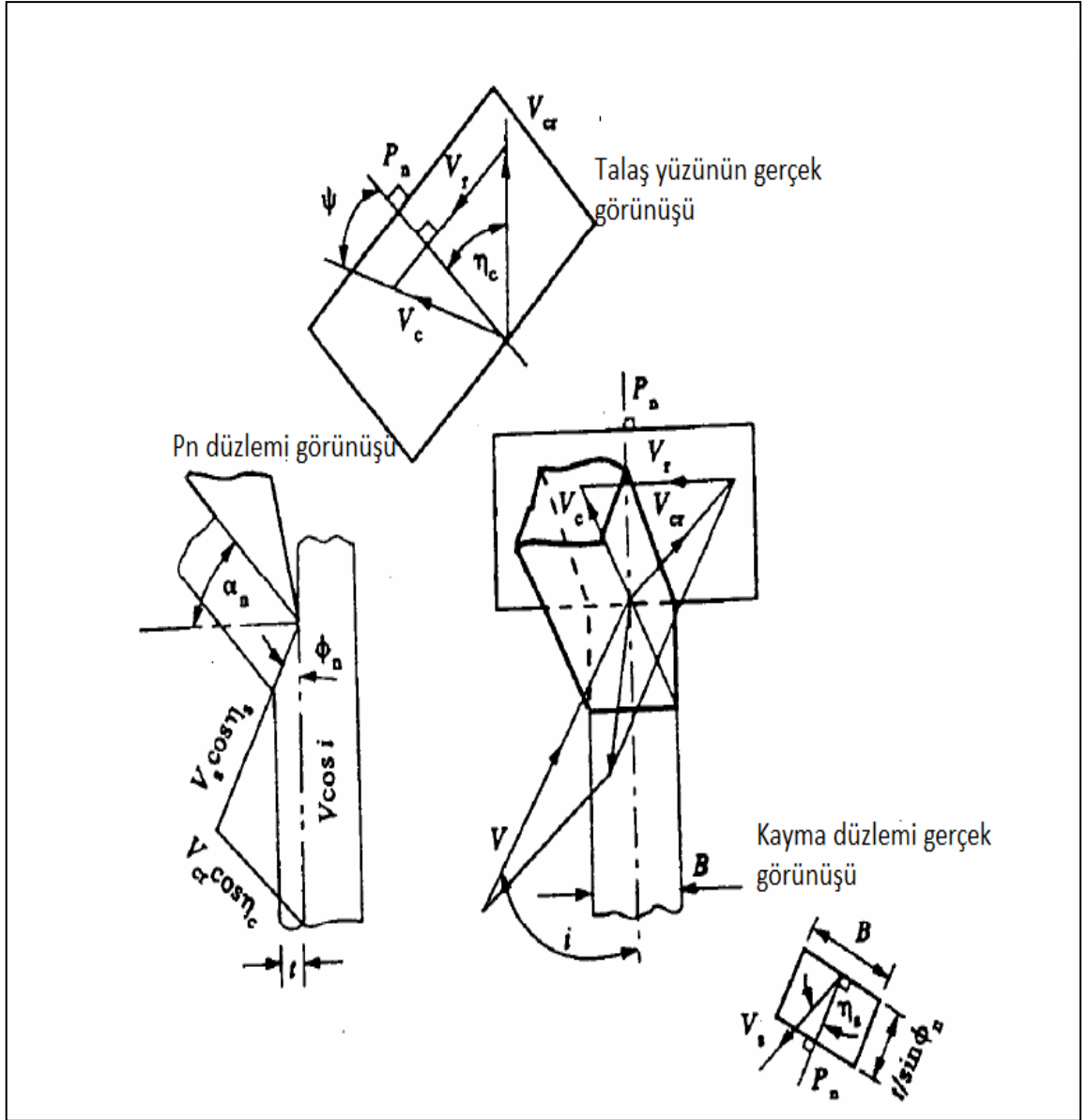
Dönen takım analizi için üstte bahsedilen denklemlerin çoğu klasik oblig kesme ile benzerdir. Eğer eşdeğer kesme genişliği  $b = B \cos i / \cos i_s$ , kesme kalınlığı  $t$  ve hacimsel talaş kaldırma oranları her iki işlem için de aynı ise dönen takım denklemlerinden 3.15, 3.18, 3.23 ve 3.27 nolu denklemler de klasik oblig kesme prosesi ile benzer olur.

Fakat iki işlem arasındaki temel fark  $V_r$  takımın dönüş hızından dolayı talaş taşınımının meydana gelmesidir. Bu nedenle eşdeğer oblig proseteki mutlak talaş akış açısı ( $\psi$ ) ve mutlak talaş uzunluk oranı( $r_1$ ) üstte anlatılan dönen takım prosesindeki bağıl talaş akış açısı ( $\eta_c$ ) ve bağıl talaş uzunluk oranı ( $r_{1r}$ ) ile kıyaslanabilir. Armarego ve arkadaşları [13] dönen kesici takım ile klasik oblig kesme işlemi arasında mükemmel bir eşdeğerlik olduğunu ileri sürmüştür. Bu kesme modelini deneysel olarak da doğrulamışlardır [13].

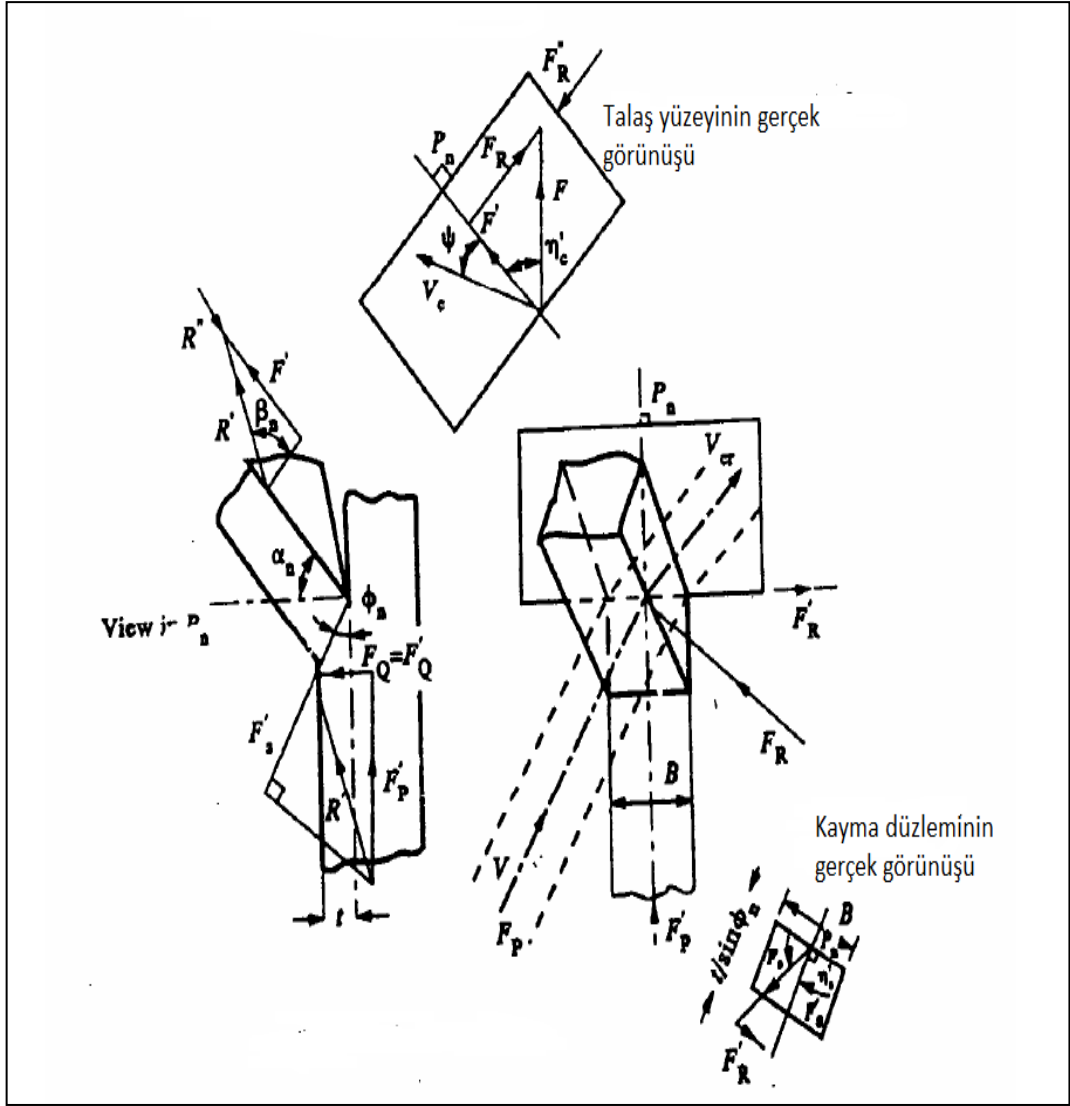
### **3.10.2 Sürücü Tahrikli Ortogonal Dönen Takım Kesme Mekaniği**

Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım kesme işlemi, statik eğim açısı  $i_s$ 'nin sıfır olduğu durumdur ve sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesinin özel bir durumu olarak da düşünülebilir.

Sürücü tahrikli oblig dönen kesme prosesindeki aynı kayma modeli ve aynı denklemler kullanıldığında ve denklemlerde  $i_s=0$  olduğunda sürücü tahrikli ortogonal proses analizi elde edilir. Sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesinde türetilen denklemlerde  $i_s=0$  olduğunda Şekil 3.19'da gösterilen mutlak geometri, hızlar ve kuvvetler elde edilir. Bu proses için elde edilen denklemler aşağıda listelenmiştir. Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım işlemi, oblig dönen takım prosesine göre oldukça basittir.



Şekil 3.19 Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım kesme modelinde deformasyon ve hızlar [13]



Şekil 3.20 Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım kesme modelinde deformasyon ve kuvvetler [13]

Kesme hızı ve eğim açısı bağıntıları,

$$V = \sqrt{(V_w)^2 + (V_r)^2} \quad (3.34)$$

$$\tan i = \frac{V_r}{V_w} \quad (3.35)$$

$$V_w = V \cos i \quad (3.36)$$

$$V_r = V \sin i \quad (3.37)$$

Talaş kaldırma miktarı hacmi,

$$V_{bt} = V_w B t = V B t \cos i \quad (3.38)$$

$$b = B \cos i \quad (3.39)$$

Talaş kalınlıkları,

$$r_t = r_1 \cos \Psi = r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i} \quad (3.40)$$

Bağıl talaş akış açısı,

$$\tan \eta_c = \frac{\sin i}{r_t \cos i} - \tan \Psi \quad (3.41)$$

Kayma açısı,

$$\tan \phi_n = \frac{r_t \cos \alpha_n}{1 - r_t \sin \alpha_n} \quad (3.42)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_1 \cos \Psi \cos \alpha_n}{1 - r_1 \cos \Psi \sin \alpha_n} \quad (3.43)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i} \cos \alpha_n}{1 - r_{1r} \frac{\cos \eta_c}{\cos i} \sin \alpha_n} \quad (3.44)$$

Sürtünme açısı,

$$\tan \beta_n = \tan \beta \cos \eta_c' \quad (3.45)$$

Kayma kuvveti açısı,

$$\tan \eta_s' = \frac{\tan \eta_c' \sin \beta_n}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n)} \quad (3.46)$$

$$F_p = \tau B t \cos i \frac{\cos(\beta_n - \alpha_n) + \tan \eta_c' \sin \beta_n \tan i}{M \sin \phi_n} \quad (3.47)$$

$$F_Q = \tau B t \frac{\sin(\beta_n - \alpha_n)}{M \sin \phi_n} \quad (3.48)$$

$$F_R = \tau B t \cos i \frac{\cos(\beta_n - \alpha_n) \tan i - \tan \eta_c' \sin \beta_n}{M \sin \phi_n} \quad (3.49)$$

$$M = \sqrt{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n)^2 + \tan \eta_c'^2 \sin \beta_n^2} \quad (3.50)$$

$$\tan(\phi_n + \beta_n) = \frac{\tan i \cos \alpha_n}{\tan \eta_c - \sin \alpha_n \tan i} \quad (3.51)$$

$$F_{Pt} = F_p + F_{pe} = F_p + K_{lp} B \cos i \quad (3.52)$$

$$F_{Qt} = F_Q + F_{Qe} = F_Q + K_{lQ} B \cos i \quad (3.53)$$

$$F_{Rt} = F_R + F_{Re} = F_R + K_{lR} B \cos i \quad (3.54)$$

Pratik kuvvet bileşenleri,

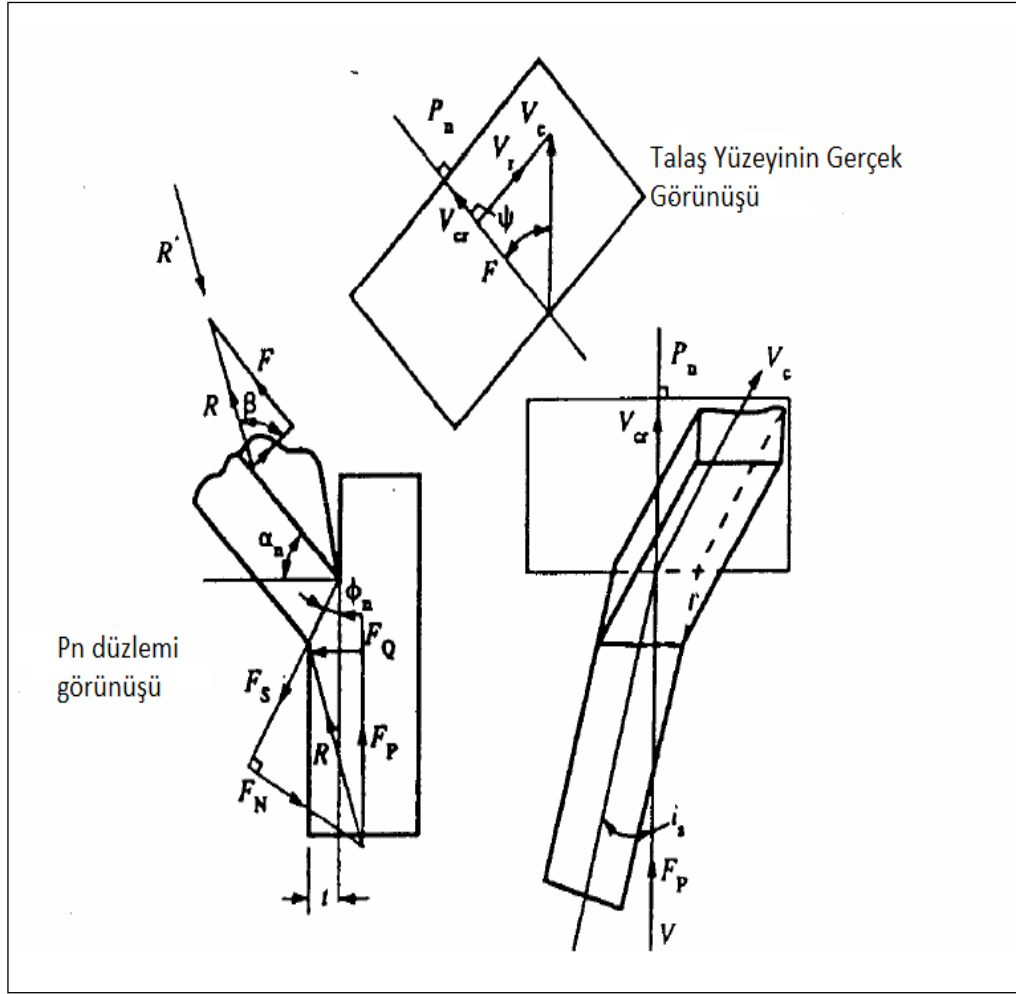
$$F_p, F_Q, F_R = \text{Fonksiyon} (\alpha_n, i, i_s, B, \tau, t, \phi_n, \beta) \quad (3.55)$$

### 3.10.3 Kendinden Dönen Oblig Kesen Takımın Kesme Mekaniği

Dönen takım statik eğim açısı  $i_s$ 'nin sıfır olmadığı durumda talaş oluşumu boyunca kesme hareketinden dolayı kendinden tahrikli olmaktadır. Takımın dönmesi için talaş oluşumu boyunca ek bir enerji gereksinimine ihtiyaç yoktur.

Kendinden dönen oblig kesen takım prosesi, kuvvetlerin, gücün ve bağıl talaş akış açısının tahmini için eşdeğer klasik ortogonal kesme prosesi ile açıklanabilir. Kayma bölgesi kesme modeline bağlı olarak Şekil 3.21'de mutlak deformasyon geometrisi, hızlar ve kuvvetler gösterilmiştir. Sürücü tahrikli oblig kesme prosesi için elde edilen denklemlerde  $i=0$  olduğu durumda kendinden dönen oblig kesen takımın kesme analizi denklemleri elde edilir.

Armarego, kendinden tahrikli oblig dönen kesici takım ile yapılan işlemlerde kuvvet ve toplam gücü klasik ortogonal kesme işlemindeki kesme genişliğini ( $b=B/\cos i_s$ ) kullanarak bulmuştur. Bu teorik işlemler Armarego tarafından deneysel olarak da kanıtlanmıştır.



Şekil 3.21 Kendinden dönen oblig kesen takım kesme modeli [13]

Kesme hızı ve eğim açısı bağıntıları,

$$V = V_w \cos i_s \quad (3.56)$$

$$V_r = V_w \sin i_s \quad (3.57)$$

Talaş kaldırma miktarı hacmi ve talaş kalınlıkları,

$$V_{bt} = \frac{VB_t}{\cos i_s} = V_w B_t \quad (3.58)$$

$$b = \frac{B}{\cos i_s} \quad (3.59)$$

$$r_t = \frac{r_{1r}}{\cos i} = r_{1r} = r_1 \frac{\cos \psi}{\cos i_s} \quad (3.60)$$

$$\eta_c = 0 \quad (3.61)$$

Mutlak talaş akış açısı,

$$\tan \Psi = \frac{\sin(i-i_s)}{r_t \cos i \cos i_s} \quad (3.62)$$

Kayma açısı,

$$\tan \phi_n = \frac{r_t \cos \alpha_n}{1-r_t \sin \alpha_n} \quad (3.63)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_1 \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \cos \alpha_n}{1-r_1 \frac{\cos \Psi}{\cos i_s} \sin \alpha_n} \quad (3.64)$$

$$\tan \phi_n = \frac{r_{1r} \cos \alpha_n}{1-r_{1r} \sin \alpha_n} \quad (3.65)$$

Kayma akış açısı,

$$\tan \eta_s = 0 \rightarrow \eta_s = 0 \quad (3.66)$$

Kesme kuvveti bileşenleri,

$$F_p = \tau B t \frac{\cos(\beta_n - \alpha_n)}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n) \sin \phi_n \cos i_s} \quad (3.67)$$

$$F_Q = \tau B t \frac{\sin(\beta_n - \alpha_n)}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n) \sin \phi_n \cos i_s} \quad (3.68)$$

$$F_R = 0 \quad (3.69)$$

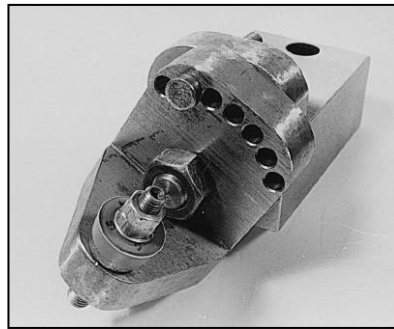
$$F_p, F_Q, F_R = \text{Fonksiyon}(\alpha_n, i, i_s, B, \tau, t, \phi_n, \beta) \quad (3.70)$$

Dönen takım kesme analizlerinden şu tespitler yapılabilir. Sürücü tahrikli oblig dönen takım prosesi en genel bir durumdur. Sürücü tahrikli ortogonal dönen takım prosesi statik eğim açısı  $i_s$ 'nin sıfıra eşit olduğu özel bir durumdur. Kendinden tahrikli dönen takım prosesi de eğim açısı  $i$ 'nin sıfıra eşit olduğu özel bir durumdur.

### 3.11 Kendinden Dönen Yuvarlak Uçlu Takımlarla Yapılan Önceki Çalışmalar

Bu kısımda kendinden dönen yuvarlak uçlu takımlarla talaşlı işlemede yapılan önceki çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Yapılan çalışmalar malzeme türlerine göre sıralanarak verilmiştir.

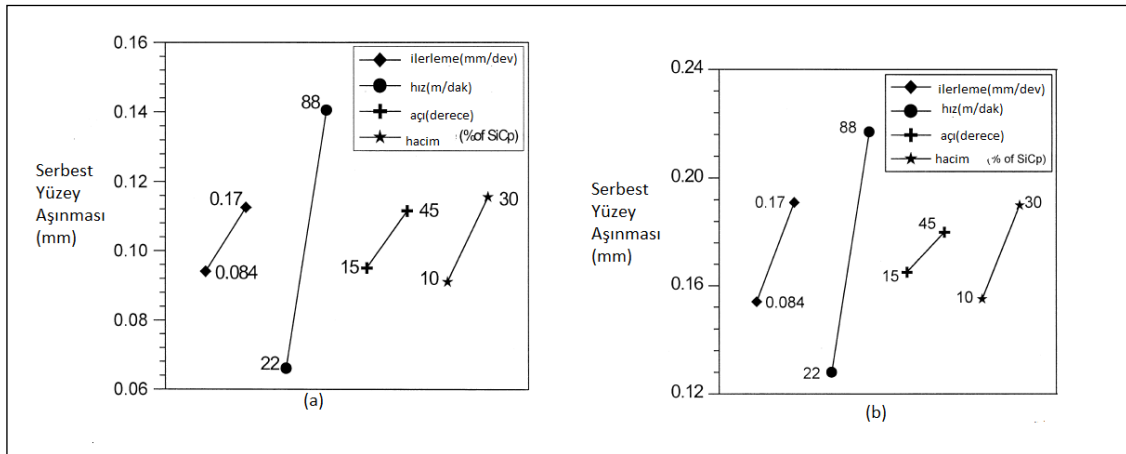
S.S. Joshi vd. [17] Al/SiCp kompozit malzemenin dönen karbür takımla işlenmesinde takım aşınmasını çalışmışlardır. Ayrıca bir takım ömrü modeli geliştirmişlerdir. Metalik kompozitler çeşitli endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında hızlı bir şekilde konvensiyonel malzemelerin yerini almaktadır. Dönen yuvarlak uçlu takımla bu malzemelerin işlenmesi sabit takıma göre bir alternatif olarak düşünülmüştür. Ayrıca dönen takımda takım ömrü sabit takıma göre daha fazladır. Kompozit malzemenin işlenmesi boyunca çeşitli faktörlerin ve birbirleri ile etkileşimlerinin takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi çalışmanın amacıdır. Çalışmada deneyleri Taguchi Metodu kullanarak tasarlamışlardır. Deney parametreleri olarak kesme hızlarını 22-28 m/dak, ilerleme 0.084-0.17 mm/dev, eğim açısı da 15-45° olarak belirlemişlerdir. Kesme derinliğini bütün deneyler için 0.2 mm almışlardır. Deneyler için şekil 3.22’de gösterilen özel bir dönen takım tasarlayıp imal edilmiştir. Takım iğneli rulman yatakla desteklenen mil üzerinde dönen yuvarlak uca sahiptir. Takım 15°’lik aralıklarla 0’dan 75°’ye kadar eğim açısına müsaade etmektedir. Deneyler esnasında 10’ar ve 30’ar saniye aralıklarında serbest yüzey aşınmasını ölçmüşlerdir.



Şekil 3.22 S.S. Joshi’nin dönen yuvarlak uçlu takım tasarımı [17]

Yapılan deneylerde kesme hızının artmasıyla aşınma hızının da artması nedeniyle aşınmayı etkileyen en baskın parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür. Şekil 3.23’te parametrelerin aşınmaya etkileri verilmiştir. Araştırmacılar kesme hızı ile kompozit malzeme takviyesi hacminin etkileşimini de incelemişlerdir. Burada kesme

hızının artmasıyla dönen yuvarlak uçlu takımın dönüş hızının artacağını ve buna bağlı takım aşınmasının azalacağını düşünmüşlerdir. Fakat gerçekte tam tersi gerçekleşmiştir. Burada takviye malzemesinden dolayı takımın dönme hızında azalmanın olduğunu tespit etmişler ve kompozitlerdeki takviye malzemesinin hızlı takım aşınmasına sebep olduğunu söylemişlerdir. Kompozit malzemelerin işlenmesinde sabit takımların takım ömrü çok küçük kesme hızlarında (7-10 m/dak) bile birkaç saniyedir. Diğer yandan, dönen karbür takımla 88 m/dak kesme hızında 60-80 saniye kadardır. Kesme hızındaki artış ile kesme kuvvetleri de arttığından aşınma hızı da artmaktadır. Diğer iki faktör, ilerleme ve eğim açısının da takım aşınması üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ve bu parametrelerin artmasıyla serbest yüzey aşınmasının arttığını görmüşlerdir. Bunun sebebi olarak da, eğim açısı ve ilerlemenin artmasıyla talaş enine kesit alanının arttığını ve bundan dolayı da takım aşınmasının arttığını söylemişlerdir.

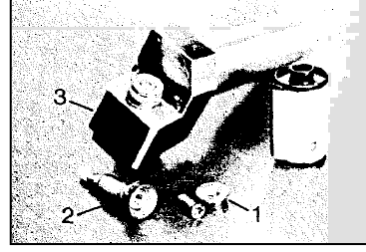


Şekil 3.23 Serbest yüzey aşınması a(10 saniye sonra)- b(50 saniye sonra) [17]

Oluşturdukları takım ömrü modeli ile tahmin edilen ve deneysel olarak yapılan serbest yüzey aşınmalarının örtüştüğünü görmüşlerdir.

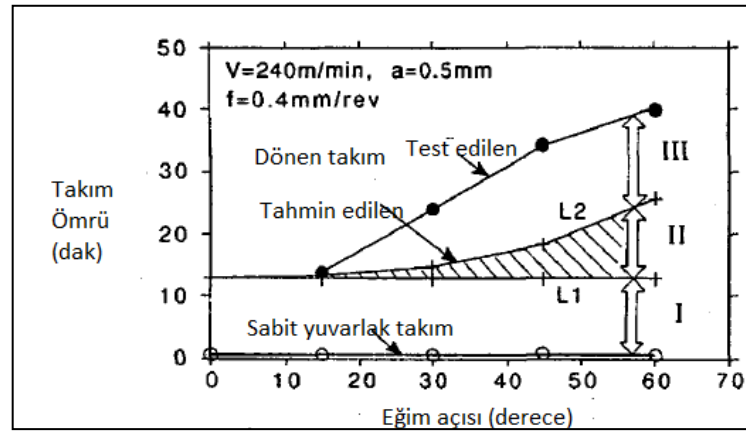
Ping Chen'de [9] metal matrisli kompozit malzemenin dönen yuvarlak uçlu takımla işlenmesi hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmada takım aşınmasının yanısıra yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetlerini incelemiştir. Malzeme olarak SiC whisker takviyeli kompozit malzeme kullanmıştır. Deneylerde kesme hızlarını 60-800 m/dak arasında, ilerleme 0.2-0.4 mm/dev, kesme derinliği 0.25-1 mm arasında, eğim açısını da 15-60° arasında belirlemiştir. Çalışmada dönen yuvarlak uçlu takım, sabit yuvarlak uçlu takım

ve kare kesitli takım arasında karşılaştırmalar yapmıştır. Deneyler için tasarlanıp imalatını yaptığı dönen yuvarlak uçlu takım şekil 3.24' te gösterilmiştir.

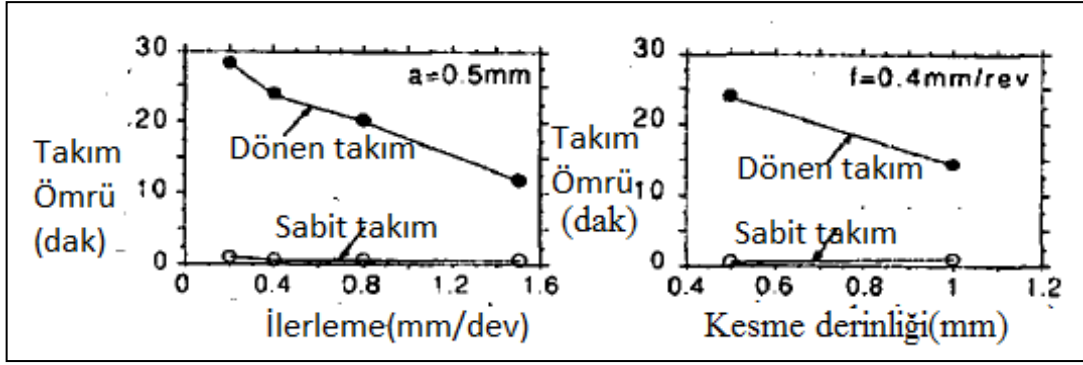


Şekil 3.24 Kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım(1-yuvarlak uç, 2-mil, 3-tutucu) [9]

Takım ömrünü etkileyen faktörlerden kesme hızının 120 m/dak'da olduğu konvensiyonel takımlarda takım ömrünün sadece 5-10 saniye olduğunu; fakat dönen yuvarlak uçlu takımda ise 1 saatin üzerinde takım ömrünün olduğunu saptamıştır. Bir diğer faktör olan eğim açısının da, 240 m/dak kesme hızında, açının 15°'den 30°'ye artmasıyla takım ömründe %72 oranında artış olduğu, 45° eğim açısında % 145 artış ve 60° eğim açısında %288 artış olduğunu belirtmiştir. İlerleme ve kesme derinliklerinde değişikliklerin dönen yuvarlak uçlu takımda etkisinin olduğunu ve ilerlemenin 0.4mm/dev'den 0.8 mm/dev'e artmasıyla takım ömründe %15 bir azalmanın olduğunu, kesme derinliğinin de 0.5'ten 1mm'ye artmasıyla takım ömründe %40 bir azalmanın olduğunu gözlemlemiştir.

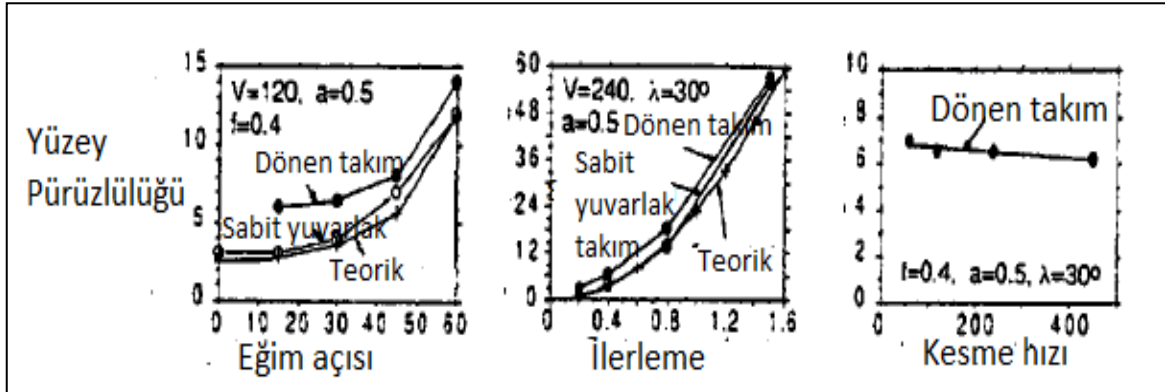


Şekil 3.25 Eğim açısının takım ömrüne etkisi [9]



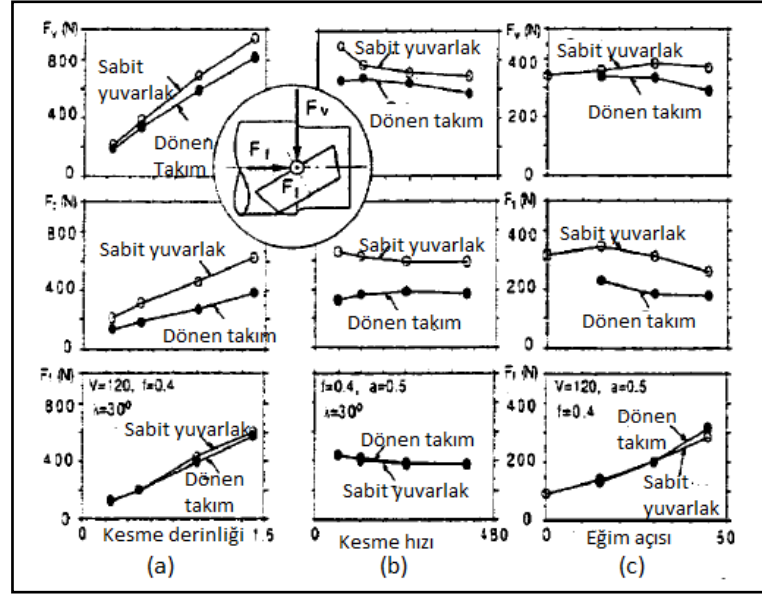
Şekil 3.26 İlerleme ve kesme derinliğinin takım ömrüne etkisi [9]

Dönen takım kesici kenar radiüsü geniş olduğundan yüzey pürüzlülüğü bu takımlarda, ilerleme iki kat daha yüksek olsa bile kare uçlara göre daha düşüktür. Şekil 3.27’de yüzey pürüzlülüğü değerleri eğim açısı, ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak verilmiştir. Araştırmacı burada deneysel ve teorik olarak hesaplanan değerlerin gösterdiğine göre, yüzey pürüzlüğünün eğim açısıyla adım adım arttığını belirtmektedir.



Şekil 3.27 Eğim açısı, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [9]

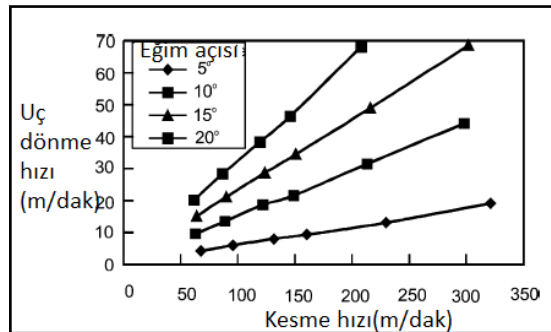
Kesme kuvvetleri de kesme derinliği, kesme hızı ve eğim açısına bağlı olarak bu çalışmada incelenmiş ve sabit yuvarlak uçlu takım ile dönen yuvarlak uçlu takım arasında karşılaştırma yapılmıştır. Kesme kuvvetinin  $F_v$  sabit yuvarlak uçlu takımlara nazaran %10-15 daha az, radyal kuvvetin  $F_t$  ise %30-40 daha az olduğunu belirtmiştir. İlerleme kuvveti  $F_f$ ’de ise çok aşırı bir değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.28 Kesme kuvvetleri [9]

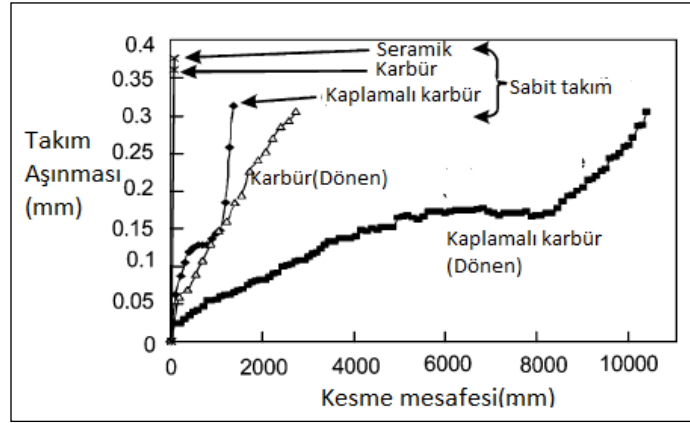
Sonuç olarak metal matrisli kompozit malzemelerin işlenmesinde dönen yuvarlak uçlu takımın yüksek performans sağladığı görülmektedir.

Kishawy ve Wilcox [23] kendinden dönen yuvarlak uçlu takımla sert tornalama işlemi için talaş oluşumu ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Karbür, kaplanmış karbür ve seramik kesici takımları karşılaştırarak kesici takım malzemesinin tipinin ve takım geometrisinin etkisinin aşınmayı nasıl etkilediğini belirterek, takım sıcaklık modeli geliştirmişlerdir. Deneylerde AISI 4340 (54-56 HRC) çeliği için 100-130-270 m/dak kesme hızlarında, 0.2 mm/dev ilerlemede ve 0.1-0.2 mm kesme derinliğinde parametreler kullanılmıştır. Dönen yuvarlak uçlu takımın çapı 25.4 mm'dir. Şekil 3.29'da takım ucu dönme hızı ve kesme hızı arasındaki bağıntıda eğim açısının etkisi görülmektedir. Herhangi bir kesme hızında eğim açısındaki artışla takım ucu dönüş hızı artmaktadır.



Şekil 3.29 Eğim açısının etkisi [23]

Farklı takım malzemeleri ile aynı kesme şartları altında yaptıkları çalışmada, dönen yuvarlak uçlu takımların daha iyi performans sergilediği ve sabit kaplamalı karbür takımında aşınmanın hızlı bir şekilde arttığı; dönen kaplamalı karbür takımında ise kademeli olarak düzenli bir takım aşınması olduğu görülmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Farklı dönen uçlu takımlarda takım aşınması ( $V=120\text{m/dak}$ ,  $f=0.2$ ,  $d=0.1$ ) [23]

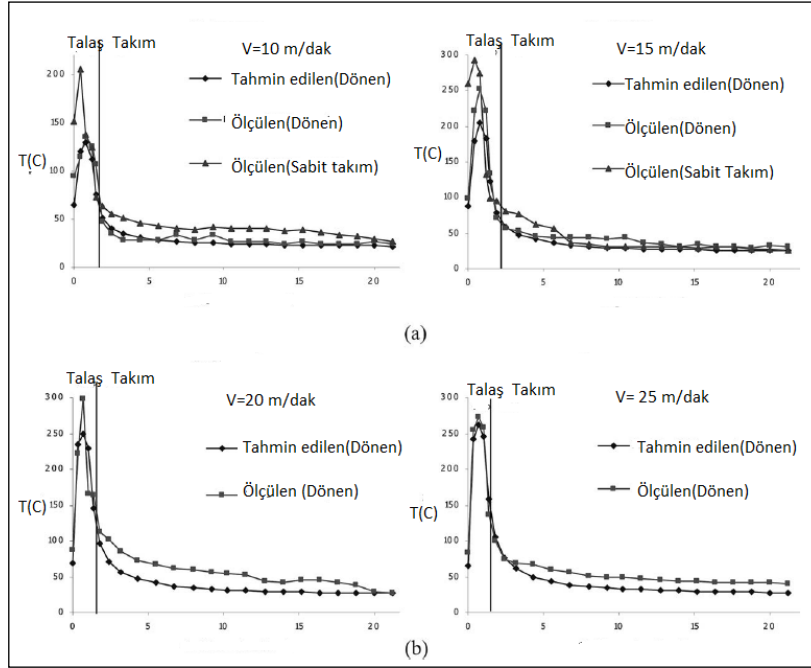
Kishawy ve Wilcox çalışmalarında dönen yuvarlak uçlu takımların sabit takımlarla karşılaştırıldığında takım aşınmasında iyi bir direnç gösterdiğini, daha uzun takım ömrü sağladığını, aşınma olarak sadece serbest yüzey aşınmasının olduğunu (krater aşınması yok), optimum takım dönme hızında takım sıcaklığının minimum olduğunu belirtmektedirler ve takım ömrünün uzun olmasını da yuvarlak uçlu dönen takımın uzun kesici kenarından kaynaklandığını belirtmektedirler.

Dessoly vd. [28] 52100 (58 HRC) sert çeliğin dönen yuvarlak uçlu takım ile tornalanmasında ısı transferini ve sıcaklık dağılımını analiz etmek için sonlu elemanlar metodu kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Deneysel olarak da farklı kesme şartları altında kızıl ötesi kamera kullanarak kesici takım sıcaklığını ölçmüşlerdir. Sabit ve dönen takımları sıcaklık oluşumu açısından karşılaştırarak ölçülen ve tahmin edilen değerlerin örtüştüğünü söylemişlerdir. Deneylerde TiN kaplamalı 27 mm çapında yuvarlak uçlu karbür takımlar  $15^\circ$  negatif talaş açısında ve  $5^\circ$  boşluk açısında kullanılmıştır. Deneylerde kesme hızları 10-15-20 m/dak, ilerleme 0.1 mm/dev, kesme derinliği de 0.05'tir. Dinamometre kullanarak ölçülen ortalama kesme kuvvetleri, kumpas ve mikrometre kullanılarak ölçülen ortalama talaş genişliği ve kalınlığı Çizelge 3.2 'de verilmektedir.

Çizelge 3.2 Ortalama kuvvet ve ortalama talaş boyutları

| Kesme hızı(m/dak) | Kesme Kuvveti(N) | Radyal Kuvvet(N) | İlerleme Kuvveti(N) | Talaş genişliği(mm) | Talaş Kalınlığı(mm) |
|-------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 10                | 74               | 100              | 22                  | 1.5                 | 0.05                |
| 15                | 85               | 150              | 28                  | 1.45                | 0.05                |
| 20                | 92               | 188              | 30                  | 1.40                | 0.05                |
| 25                | 90               | 200              | 30                  | 1.35                | 0.05                |

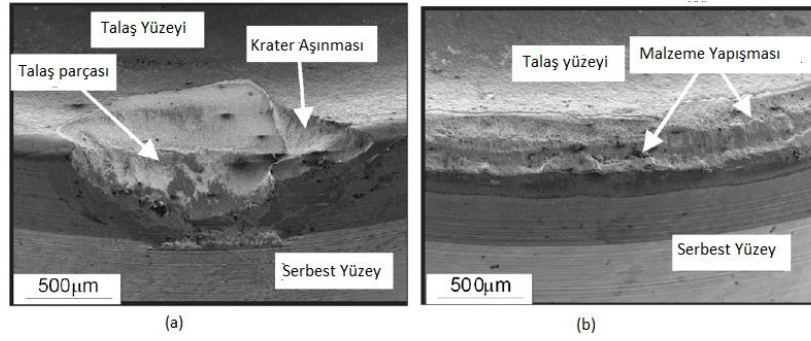
Çalışmada, bütün kesme şartlarında modelden tahmin edilen sıcaklıklar ile ölçülen sıcaklıklar aynı eğilimi gösterdiği şekil 3.31’de görülmektedir. Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın sabit yuvarlak uçlu takıma göre aynı kesme şartlarında 50°C daha az kesme sıcaklığı oluştuğu görülmüş ve bunun sebebi olarak da kendinden dönen takımın kendi eksenini etrafında dönmesini, kesici kenar boyunca soğuma sağladığını söylemektedirler. Yazarlar oluşturdukları sıcaklık modelinin dönen takımla işlemede iyi sonuçlar vereceğini önermektedirler.



Şekil 3.31 Kesme sıcaklıkları [28]

Kishawy vd. de [26] dönen yuvarlak uçlu takım ile sert tornalama işleminde takım aşınma modeli geliştirmişlerdir. AISI 4340 (54-56) sertleştirilmiş çeliğini 0.2 mm sabit kesme derinliğinde ve farklı kesme hızlarında 27 mm çapında yuvarlak uçlu karbür takım kullanarak işlemişlerdir. 130 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerlemede sabit takımda kesme uzunluğu 250 mm iken, dönen takımda kesme uzunluğu 2600 mm’nin üzerine çıkmıştır. Şekil 3.32’de gösterilen aşınma resimlerinde sabit yuvarlak uçlu takımda birkaç saniye sonra aşınmakta iken, dönen takım da ise takım ömrünün

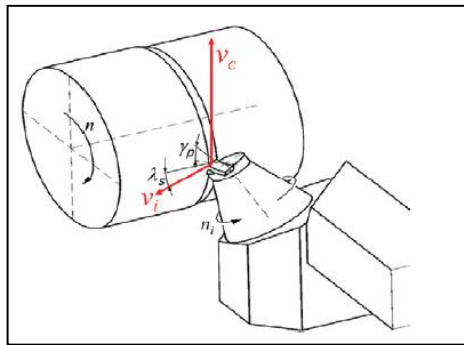
sonunda aynı aşınma miktarı görülmektedir. Ayrıca sabit takımda krater aşınması görülürken dönen takımda bu aşınma görülmemektedir.



Şekil 3.32 Takım aşınması a-Sabit takım(birkaç saniye sonra)- b-Döner takım(takım ömrünün sonuna kadar) [26]

Sonuç olarak ölçülen ve tahmin edilen aşınma değerlerinde çok iyi bir uyum olduğu, döner takımın takım ömrünün sabit takıma göre daha uzun olduğu görülmektedir.

Kossakowska ve Jemialniak [44], işlenmesi zor malzemelerden 15H11MF yüksek alaşımlı çeliği kendinden döner yuvarlak uçlu takım ile tornalama işlemini gerçekleştirerek kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü, takım ucu dönüş hızını incelemişlerdir. Kullanılan yuvarlak uçlu takım 12.7 mm çapında sinterlenmiş karbür ve eğim açısı  $-24^\circ$ , talaş açısı  $-24^\circ$  olarak Şekil 3.33'te gösterilmektedir. Kesme hızı 40-100-150 m/dak, ilerleme 0.13-0.3-0.47-0.6 mm/dev olarak ve kesme derinlikleri de 0.1-0.25-0.35-0.5 mm olarak seçilerek kuru tornalama işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri 3 eksenli dinamometre ile ve takım ucu dönme hızı da temassız sensör yardımıyla ölçülmüştür.

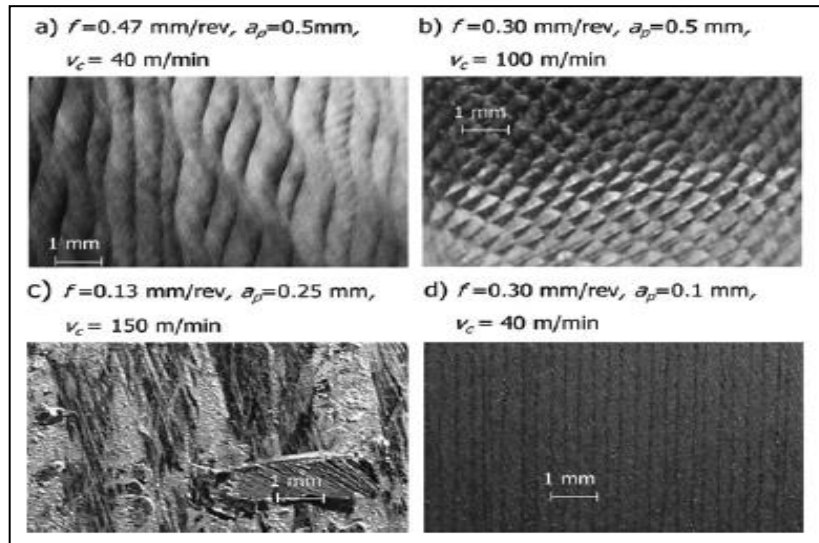


Şekil 3.33 Kendinden döner yuvarlak uçlu takım için kesmenin şematik modeli [44]

Takım dönme hızını bütün testlerde kaydedip incelemişlerdir. Takım ucunun dönme hızı dört durumu vardır. İlk olarak uç iş parçasına dalarak hareket alır. İkinci periyotta

takım dönme hızında artış olur, üçüncü periyotta denge hızına ulaşılır ve son periyotta takım geri çekilir. Düşük kesme hızlarında takım ucu dönme hızının stabil olduğu, çok küçük kesilmemiş talaş alanında takım ucuna gelen teğetsel kuvvetin aniden ucu hızlandırmaya yeterli olmadığı görülmektedir.

İlerleme kuvveti  $F_f$ , radyal kuvvet  $F_p$  ve kesme kuvveti  $F_c$ 'nin ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığını deneysel çalışmalarla gözlemlemişlerdir. Şekil 3.34'te testler boyunca değişik parametrelerde farklı işlenmiş yüzeyler sunulmuştur. Burada Şekil 3.34a'da yüzeyde açıkça görülen dalgalanmalar görülmektedir. Bunun sebebi de ucun düzgün dönmemesi ve iş parçası titreşimidir. Şekil 3.34b'de takımdan kaynaklanan titreşimlerin sebep olduğu kısa titreşim izleri görülmektedir. Şekil 3.34c'de ise en kötü elde edilen yüzey görülmektedir. Bunun nedeni de yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme ve yüzeye yapışmış talaşlar olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Şekil 3.34d'de en güzel yüzey elde edilmiştir.



Şekil 3.34 İşlenmiş yüzeyler a)Uçtan kaynaklanan b)Takım titreşim izleri c)Yapışmış talaşlar d)Pürüzsüz yüzey [44]

Çalışmalarında özet olarak kendinden dönen yuvarlak uçlu takım için kapsamlı bir çalışma sunarak yöntemin bazı önemli dezavantajlarına ve kısıtlamalarına değinmişlerdir. En önemlisi de, dönen takımın talaş yüzeyi etrafında türbülanslı talaş oluşturma eğilimi ve oluşan bu talaşları yuvarlak ucun işlenmiş yüzeyine çekmesi olduğu belirtilmiştir. Bunun sonucunda yapışık talaş ve istenmeyen yüzey kalitesi oluşmaktadır. Takımın düşük rijitliği de ucun düzgün dönmelerini engellemekte ve

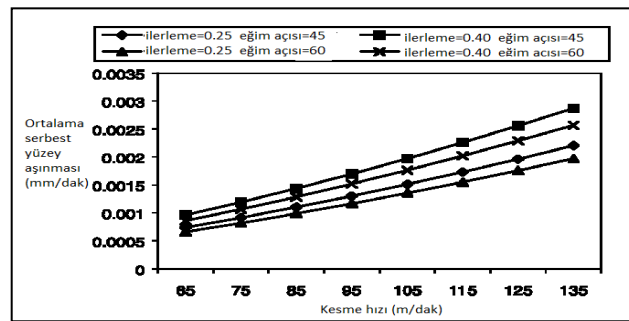
işlenmiş yüzeyin dalgalı olmasına sebep olmaktadır. Takımın yüksek frekanslarda özellikle düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarında titreşime eğimli olduğu da belirtilmiştir.

Wang ve Ezugwu [18] havacılık ve uzay sanayiinde kullanılan yine işlenmesi zor olan IMI 318 süper alaşımını ve nikel bazlı Inconel 718 malzemeleri üzerinde kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Bu çalışma da yine 0.25mm küçük kesme derinliğinde yapılmıştır. IMI 318 malzemesi için kaplamasız karbür uçlar kullanılırken, Inconel 718 için kaplamalı karbür uçlar kullanılmıştır. Dönen takım eğim açısı 30-60° arasında değişmekte ve talaş açısı da 10°'dir. İlerleme 0.25-0.4 mm/dev'dir. IMI 318 malzemeyi kendinden dönen takım ile işlemede farklı kesme şartlarında çok düşük serbest yüzey aşınmaları görülmüştür. 89 m/dak kesme hızında, 0.25 mm kesme derinliği ve 0.25 mm/dev ilerlemede sabit takımlarda takım ömrü 0.8 dakika, sabit yuvarlak uçlu takımda 1.5 dakika iken dönen yuvarlak uçlu takımda 65 dakika olduğu görülmektedir. Yani sabit yuvarlak uçlu takımların yaklaşık 40 katı daha fazla takım ömrü vardır. Kesme hızı 129 m/dak olduğunda ise yaklaşık takım ömrü 43 dakika olarak görülmektedir. Inconel 718 malzemedede ise daha düşük kesme derinliğinde (0.6mm) kare uçlu takımlara göre takım ömrü 5 kat daha fazla, sabit yuvarlak uçlu takımlara göre ise 3 kat daha fazladır. Yuvarlak uçlu takım ile konvensiyonel tornalamada kesme kuvvetleri genellikle kesme hızının artmasıyla artmaktadır. Bunun nedeni de kesme sıcaklıklarındaki artış ve iş parçası deformasyon direncinin azalmasıdır. IMI 318'in kendinden dönen takım ile işlenmesinde sabit yuvarlak uçlu takıma göre kesme kuvvetinde %15-20, radyal kuvvette %25-35 azalma görülürken ilerleme kuvveti neredeyse benzerdir. Eğim açısı da kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Eğim açısının artmasıyla, kesme ve radyal kuvvetler de azalma görülmüştür. Bunun nedeni de takım dönme hızındaki artış, kendinden dönen takımın yüksek efektif talaş açısı ve kesme yönündeki efektif uç yarıçapındaki azalmadan kaynaklandığını araştırmacılar belirtmişlerdir. İlerleme kuvvetinin artması ise yüksek eğim açılarında ilerleme direncinin artmasından kaynaklanmaktadır. IMI 318 işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü değerleri de kaydedilmiştir. Normalde kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri vardır. Konvensiyonel tornalamada

İlerleme azaldıkça yüzey pürüzlülüğü de azalır. Fakat dönen takımla kesmede durum bu şekilde değildir. İlerleme 0.25 mm/dev'den 0.4 mm/dev'e artınca yüzey pürüzlülüğünde önemsenmeyecek kadar bir değişim gözlemlenmiştir. Bunun, dönen kesmede 0.4 mm/dev yüksek ilerlemede takım ile iş parçası arasındaki sıvanma hareketinin artmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğündeki önemli değişim eğim açısının 45°'den 60°'ye artmasıyla pürüzlülük değerinin artmasıyla meydana gelmiştir. Bunun sebebini de dönen kesici takımın efektif uç radisünün azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Konvansiyonel tek nokta kesme işleminde yüksek kesme hızlarında en iyi yüzey kaitesi elde edilirken dönen takımla kesme işleminde yüksek kesme şartlarında dönen kesme sisteminin rijitliğinin az olmasından dolayı bu şekilde olmamaktadır.

Ezugwu vd. [24] daha önce yapmış oldukları çalışmaya ilaveten titanyum alaşımlı IMI 318 malzemenin kaplanmamış karbür kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile takım aşınması hakkında çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada da bir önceki çalışmayla benzer parametreler kullanılmıştır. Kesme hızları 63-89-129 m/dak, ilerleme 0.25-0.4 mm/dev, kesme derinliği 0.25 mm sabit alınmıştır. Talaş açısı 12° ve eğim açısı da 30-60° arasında değişkenli olarak ayarlanmaktadır. Kesme hızı, ilerleme ve eğim açısına bağlı olarak geliştirilen aşınma modelinde kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla ortalama serbest yüzey aşınması artmakta; eğim açısının artmasıyla ise azaldığı görülmektedir.

Kesme hızı, ilerleme ve eğim açısının etkileri Şekil 3.35'te gösterilmektedir. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüksek kesme sıcaklıkları oluştuğundan dolayı, kısa takım ömrü ile sonuçlandığı belirtilmiştir. Eğim açısının 45°'den 60°'ye artmasıyla dönen yuvarlak uçlu takımın performansında artış olmuştur.

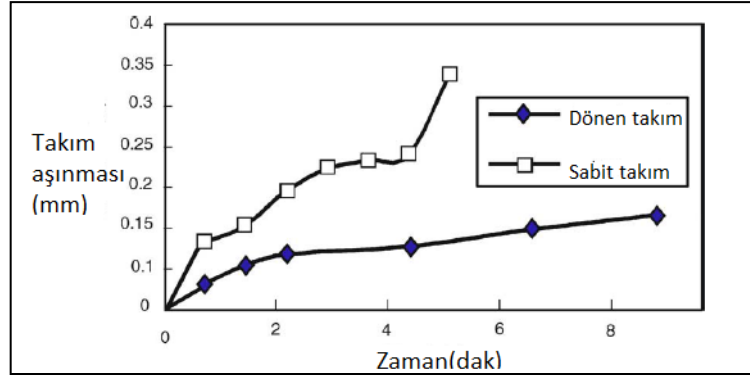


Şekil 3.35 Kesme hızı, ilerleme ve eğim açısının kendinden dönen takımların performansına etkileri[24]

Kesme kuvvetlerine kesme hızının ve eğim açısının etkileri de incelenmiştir. Kesme kuvvetleri, konvensiyonel tornalama işleminde birincil kayma bölgesindeki sıcaklığın artmasından dolayı genellikle azalmaktadır. Kendinden dönen takım ile işlemede ise, kesme bölgesinde düşük kesme sıcaklıkları olduğu için kesme hızının etkisi ihmal edilebilir. Buna rağmen kesme kuvveti ve radyal kuvvette konvensiyonel takıma göre sırasıyla %20 ve %35'e varan azalmalar olduğu görülmüştür. Eğim açısının etkisi ise, eğim açısı arttıkça kesme ve radyal kuvvetler azalmakta; ilerleme kuvvetinde ise artış eğilimi olduğu görülmüştür. Araştırmacılar ilerleme kuvvetinin artmasının yüksek eğim açılarında ilerleme direncinin artmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

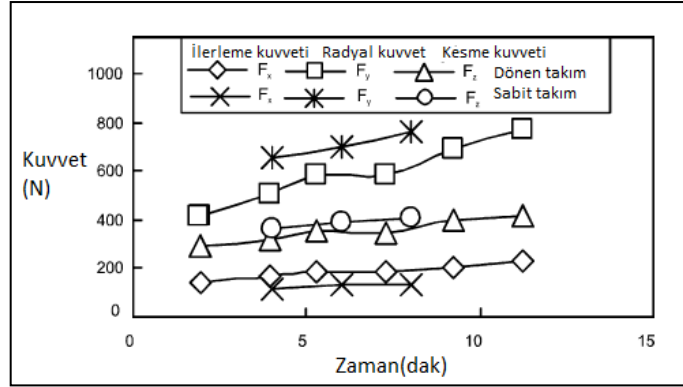
Kishawy vd. [26] da kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile titanyum-nikel bazlı alaşımların işlenmesinde takım performansı yüzey kalitesini incelemişlerdir. 12 ve 19 mm çapında olmak üzere iki farklı yuvarlak uç, kaplamalı karbür ve mikrotaneli karbür uç kullanmışlardır. Kesme hızları 40-120 m/dak arasında değişmektedir. Kesme derinliği 0.2 mm sabit olarak alınmış, ilerleme ise 0.2-0.5 mm/dev'dir. 65m/dak kesme hızında 0.2 mm kesme derinliğinde ve 0.5 mm/dev ilerlemede nikel bazlı süper alaşımın işlenmesinde 19mm geniş uç çapından dolayı ilerleme büyük de olsa 0.5  $\mu\text{m}$ 'den daha az yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Takımın dönme hızı da yüzeye ilişkilidir. Daha önce bahsettiğimiz Chen'in[9] kompozit malzemelerin işlenmesindeki çalışmasında da takımın dönme hızının yüzeye etkisi olduğu belirtilmişti. Takımın dönmesi de eğim açısıyla ilişkilidir. Eğim açısının artmasıyla takım dönme hızı artar.

Şekil 3.36'da gösterildiği gibi dönen takım da daha az aşınma görülmektedir. 4,5 dakika sonra sabit takım da serbest yüzey aşınması 290  $\mu\text{m}$  ölçülürken; 8,8 dakika sonra dönen takım ile işlemede serbest yüzey aşınması 118  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Araştırmacılar bu uzun takım ömrünün yuvarlak takım ucunun genişliğinden kaynaklandığını belirtmektedirler. Hem titanyum hem de nikel bazlı alaşımlarda benzer sonuçlar alınmıştır. Standart takımlarda krater aşınması baskın görülürken dönen takım da krater aşınması yok, serbest yüzey aşınması baskındır. Takım aşınma mekanizması dönen takım da, sabit takımlara göre farklılık göstermektedir. Krater aşınmasının olmamasının nedenini de takımın dönmesinden dolayı sıcaklığın azalmasından olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3.36 Takım aşınma karakteristikleri  $V=105\text{m/dak}$ ,  $f=0,3\text{mm/dev}$ ,  $a=0,2\text{mm}$  [26]

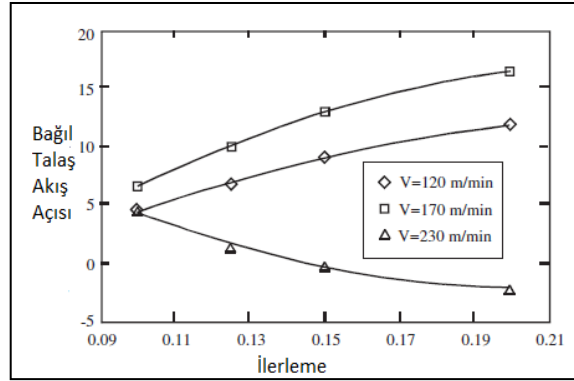
Geniş uç radiusünden dolayı da yüksek radyal kuvvetler oluşabilir. Şekil 3.37’de hem sabit hem de dönen takım ile waspaloyun işlenmesinde oluşan kesme kuvvetleri verilmiştir. Dönen takımında daha düşük kuvvetler oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3.37 Waspaloy işlenmesinde kesme kuvvetleri  $v=60\text{m/dak}$ ,  $f=0.127$ ,  $d=0.25$  [26]

Kishawy vd. [31] bir diğer çalışmalarında ise, kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile 1045 karbon çeliğini işleyerek talaş akış yönünün tahmini hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bağlı ve mutlak talaş akış açıları incelenmiştir. Malzeme olarak 44 mm iç çapında boru malzeme kullanarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametreleri 120-170-230 m/dak kesme hızları,  $17^\circ$  eğim açısı,  $-5^\circ$  normal talaş açısı, 0.1-0.125-0.15-0.2 mm/dev ilerleme ve 27 mm çapında kesici dönen uç kullanılmıştır. Hem tahmini sonuçlar hem de deneysel sonuçlardan elde edilen değerler karşılaştırılarak hemen hemen birbirine çok yakın değerlerin çıktığı görülmektedir. Mutlak talaş açısının değeri bu çalışmada  $22.6-26.6^\circ$  değerleri arasında değişmektedir. Mutlak talaş açısının değişken kesme hızlarında ve ilerlemenin 0.1-0.2 mm/dev arasında değişmesiyle deneysel sonuçlarda çok az değiştiği görülmektedir. Deneysel sonuçlara ve teorik

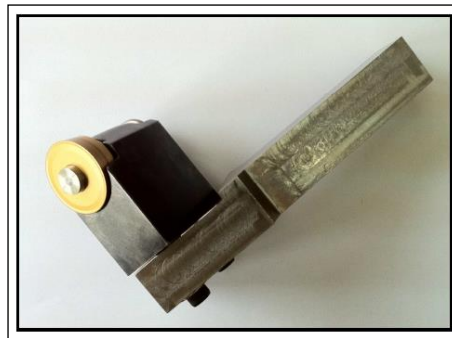
tahminlere göre mutlak talaş açısı kesme hızından etkilenmemektedir. Bağlı talaş açısı ise 120 ve 170 m/dak kesme hızlarında ilerlemenin artmasıyla artmakta; 230 m/dak kesme hızında ilerlemenin artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 3.38 Kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile bağlı talaş akış açıları [31]

Li ve Kishawy [30] 1045 karbon çeliğini kullanarak kendinden dönen yuvarlak uçlu takım ile işlemede kesme kuvvetleri için bir model oluşturmuşlardır. Oxley'in analizi ile kendinden dönen takım ile oblig kesme için eşdeğer oblig kesme kuvvetleri tahmini yapılmıştır. Çalışmada kaplanmamış 27 mm çapında karbür kesici uç kullanılmıştır. Takım eğim açısı  $17^\circ$  ve talaş açısı  $-5^\circ$ 'dir. Kishawy'nin bir önceki çalışmasında kullanılan kesme parametrelerinin aynı değerleri bu çalışmada da kullanılmıştır. Sonuç olarak oluşturulan model ile tahmin edilen kesme kuvvetleri ile deneysel olarak ölçülen kesme kuvvetleri uyum içindedir. Yaklaşık %3 bir hata vardır.

Kıyak ve Altan [42] çalışmalarında AISI1050 yumuşak çeliğin dönen yuvarlak uçlu takım ile tornalanmasında yüzey kalitesinde kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışma için yeni bir dönen yuvarlak uçlu takım tasarımı yapılmıştır. Çalışmada kullanılan takım Şekil 3.39'de gösterilmektedir.



Şekil 3.39 Deneylerde kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım [42]

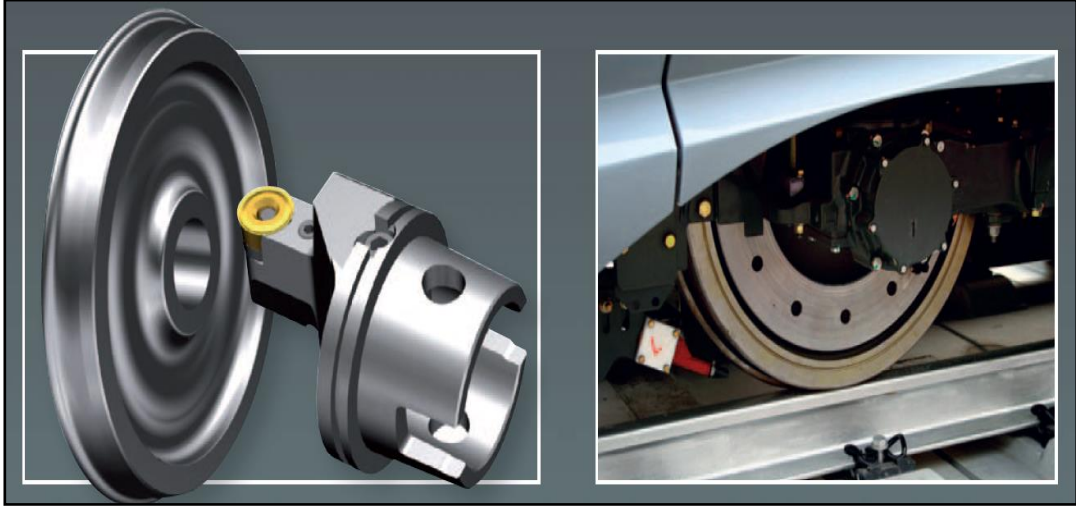
Çalışmada 32 mm çapında dönen yuvarlak kesici uç 0 ve -5° talaş açılarında ve 20-30-45° eğim açılarında kullanılmıştır. Kesme hızları 60-120 m/dak olarak, ilerlemeler ise 0.1-0.2-0.4 mm/dev olarak seçilmiş ve kesme derinliği de 0.25 mm'dir. Genel olarak yüzey pürüzlülüğü ilerleme arttıkça artmaktadır. Fakat dönen takımda eğim açısı yüzey pürüzlülüğünü etkilememektedir. Kesme hızının 60m/dak'dan 120m/dak'ya artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmektedir. Eğim açısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. 0.1 mm/dev ilerleme ve 45° eğim açısında yüzey pürüzlülüğünde ciddi bir azalma olmuştur. Talaş açısının 0°'den -5°'ye değişmesi yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. İlerlemenin artmasıyla 0° talaş açısında, 45° eğim açısında ve 0.4 mm/dev ilerlemede çok kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. Sonuç olarak en iyi yüzey kalitesi 0° talaş açısında, 45° eğim açısında, 0.1 mm/dev ilerlemede ve 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

### **3.12 Dönen Yuvarlak Uçlu Kesici Takımların Kullanıldığı Alanlar**

Dönen yuvarlak uçlu takımların sağladığı faydalardan dolayı imalat endüstrisinde de kullanılması önem kazanmıştır. Sabit konvensiyonel takımlara göre kullanım alanları sınırlıdır. Bu takımları imal eden yurtdışında bazı firmalar vardır. Rotary Technologies Corporation bunlardan biridir. Bu firma dönen tornalama ve freze takımları üretmektedir. Company Pramet firması da trenyolu tekerleklerinin işlenmesinde kullanılan dönen tornalama takımları imal etmektedir. Boehlerit firması büyük çapta kütüklerden kabuk soyma amaçlı dönen yuvarlak uçlu tornalama takımlarını kullanmaktadır. Mitsubishi Materials firması da deneysel çalışma amaçlı dönen yuvarlak uçlu tornalama takımı geliştirmiştir. Ayrıca bu firmalarda RCMX dönen takım uçları da üretilmektedir. Şekil 3.40 ve Şekil 3.41'de dönen yuvarlak uçlu takımların kullanılması gösterilmektedir.



Şekil 3.40 Boehlerit kabuk soymada kullanılan dönen yuvarlak uçlu takım[55]



Şekil 3.41 Company Pramet firmasının tren tekerleklerinin işlenmesinde kullandığı dönen yuvarlak uçlu takım[56]

### TAKIM TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1 Giriş

Bu bölümde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar verilmektedir. Çalışmada yeni bir takım tasarımı geliştirilip, bu takım ile kesme parametreleri incelenerek takımın istenilen özelliklere uygunluğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada kullanılan takım tasarımı farklıdır ve daha büyük kesme derinliklerine olanak sağlamaktadır. Çalışmalar için ilk önce takımın bir ön tasarımı yapılmış ve imal ettirilmiştir. Bu takım ile farklı iş parçaları kullanılarak, farklı kesme şartlarında deneyler yapılmıştır. Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi Talaşlı Şekil Verme Laboratuvarında GoodWay CNC takım tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde dinamometre ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük cihazı ile de yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kesme parametreleri; eğim açısı, kesme derinliği, kesme hızı ve ilerlemedir. Takım talaş açısı  $0^\circ$  sabittir. Parametrelerden kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme değerleri CNC takım tezgahı parça programıyla ayarlanmakta; eğim açısı ise tasarlanan takımdan verilmiştir.

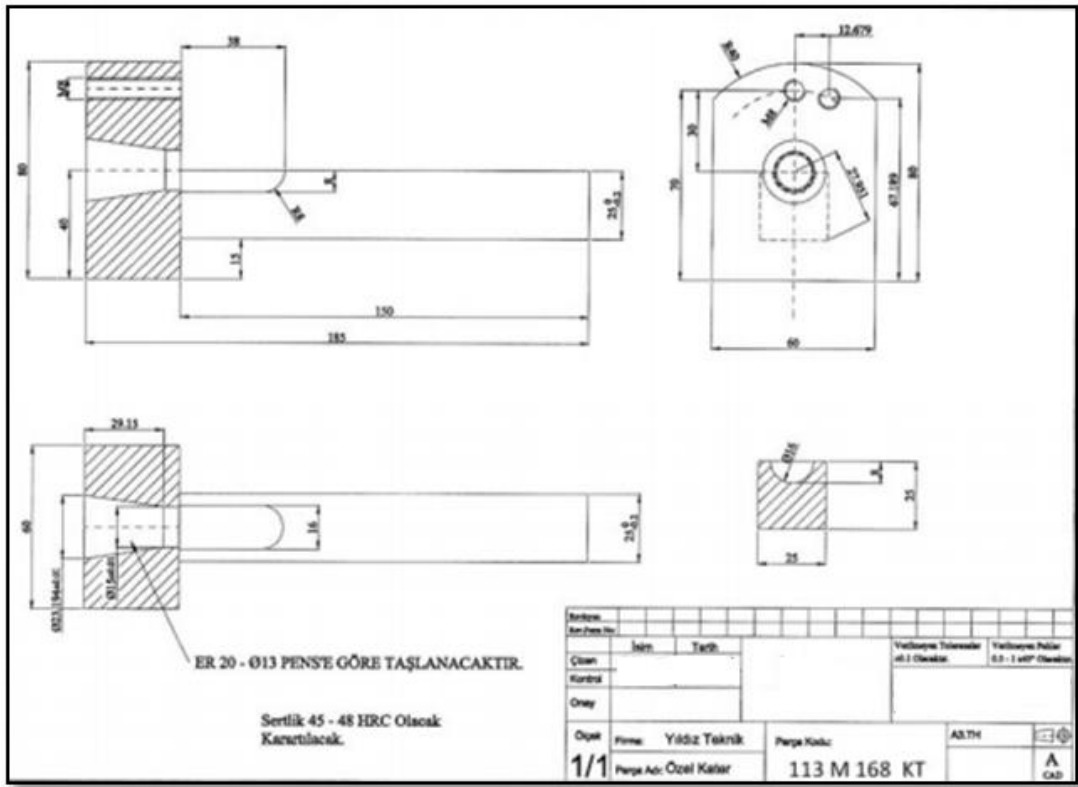
#### 4.2 Takım Tasarımı ve Kullanılan Kesici Yuvarlak Uç

Tasarımı yapılacak takımın kendinden dönen yuvarlak uçlu takım olması benimsenmiştir. Dönen takım kesici yuvarlak uç ve takım tutucudan meydana gelmektedir. Kullanılan kesici yuvarlak uç, yuvarlak tip ISO standartlarına göre RCMX3209M0 kaplamasız karbür uçtur.  $7^\circ$  boşluk açısı,  $0^\circ$  talaş açısına sahip olan uç 32 mm çapındadır. Yuvarlak uçlu takımlar firmalarda kolayca bulunabilmekte veya birçok

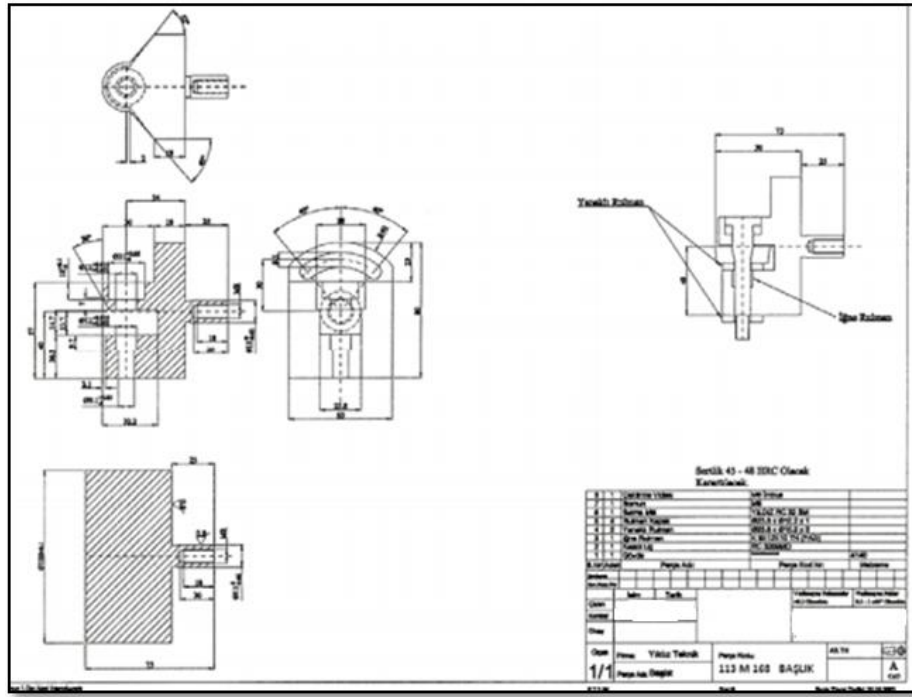
A photograph of a cylindrical metal component, likely a pulley or a part of a machine. It features a central hole and a flange. The component is made of a dark, possibly black-painted, metal. The surface shows some wear and a slightly textured appearance. The component is centered on a plain, light-colored background.

75

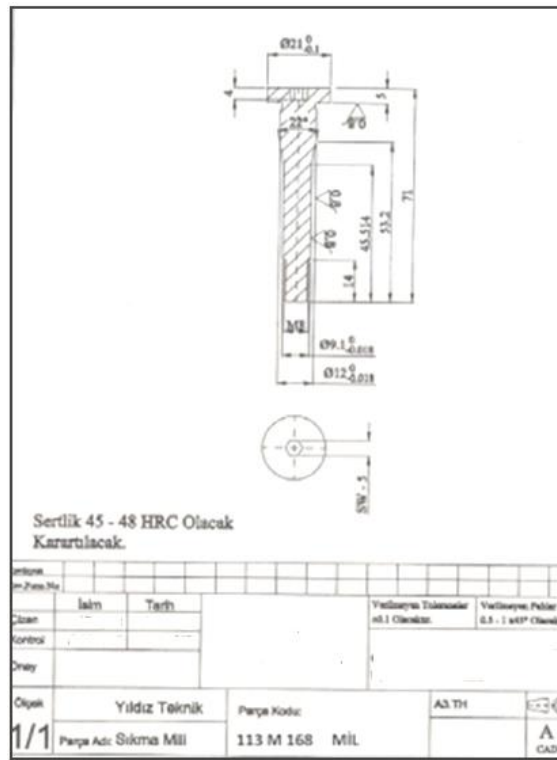
Tasarımı yapılan dönen yuvarlak uçlu takım sap kısmı ve kafa kısmı olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Kafa kısmı ile sap kısmının birleşme noktasında bağlantı mili üzerinde pens kullanılmıştır. Bu pens vasıtası ile takıma pozitif ve negatif yönde kademesiz eğim açısı verilmektedir. Eğim açısı değerleri kafa kısmının döndürülmesiyle ayarlanmaktadır. Kesici yuvarlak plaket, takımın kafa kısmına mil ve rulmanlar vasıtası ile monte edilmiştir. Kesici yuvarlak uç, kafa kısmında daha önce literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak sadece alttan değil üst kısımdan da (mil iki yandan yataklanarak) desteklenmiştir. Bu sayede daha rijit bir tasarım meydana gelmiştir. Kafa kısmının gövde içinde milin üst kısımdan yataklanmasında sabit bilyalı rulman ve alt kısımdan yataklanmasında da iğneli kafes rulman bulunmaktadır. Plaketin hemen altında ve milin ucunda eksenel iğneli rulmanlar kullanılarak yataklama işlemi gerçekleştirilmiştir. Öngörülen konstrüksiyonun imalat resimleri kater, başlık ve sıkma mili olmak üzere Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Tasarlanan takımın kater kısmı imalat resmi



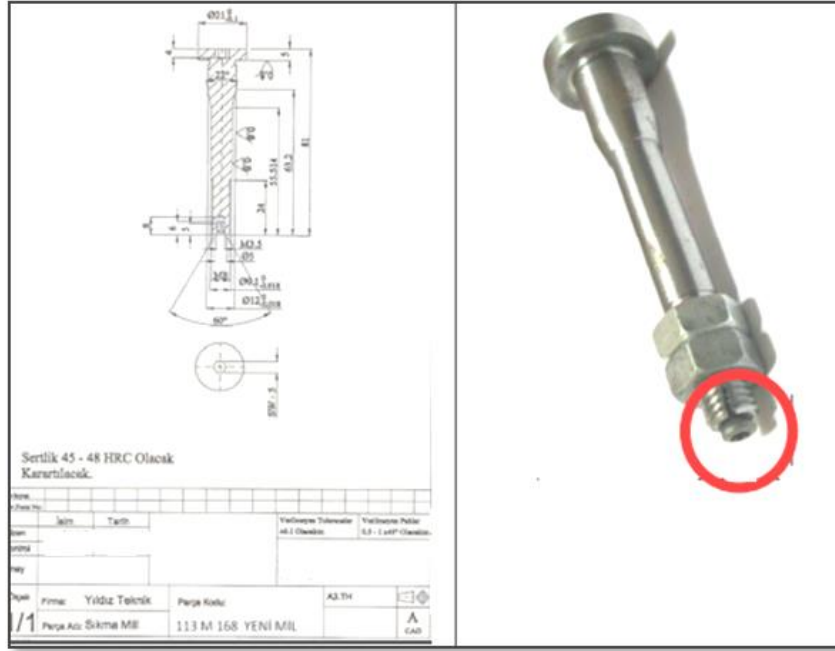
Şekil 4.4 Tasarlanan takımın başlık kısmı imalat resmi



Şekil 4.5 Tasarlanan milin imalat resmi

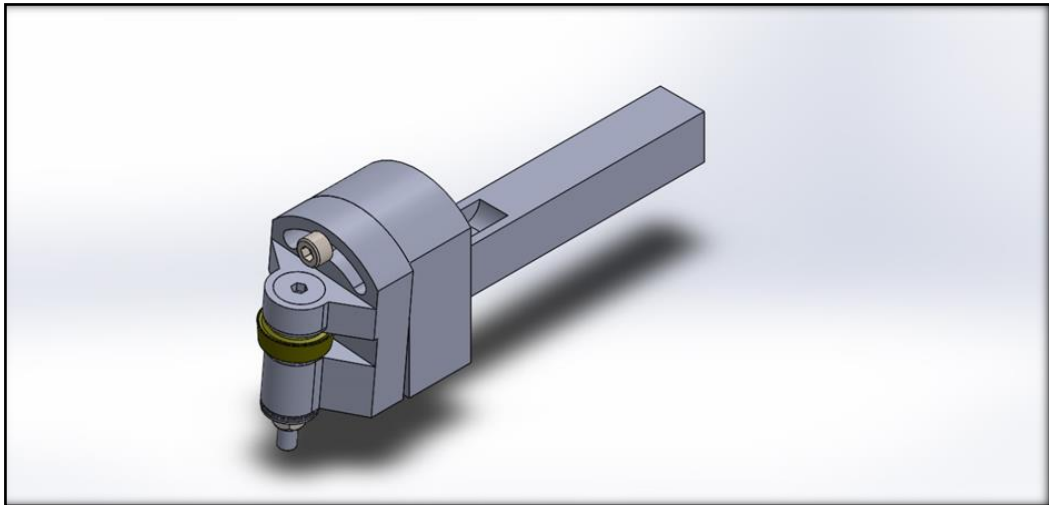
Tasarlanıp Takımsaş firması tarafından imalatı gerçekleştirilen takım ile yapılan ön deneyler sonucu, talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilirken takım üzerine gelen dinamik kuvvetlerin etkisinden dolayı, takım milinin ucundaki iki adet kontra somunun zayıf

gelmesi ile milin zamanla çözüldüğü gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında belirlenen bu durumdan dolayı yeni bir mil tasarımı gerçekleştirilmiş ve Takımsaş firmasına imal ettirilmiştir. Bu milde uçtan bağlanan kontra somunların çözülmemesi için milin alın yüzeyi aksenal olarak delinerek yarık açılmıştır. Açılan bu deliğe havşa başlı cıvata yerleştirilerek otoblokaj sağlanmış ve somunların çözülmesi engellenmiştir. Yeniden tasarlanan milin imalat resmi Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Yeniden tasarlanan milin imalat resmi ve mil

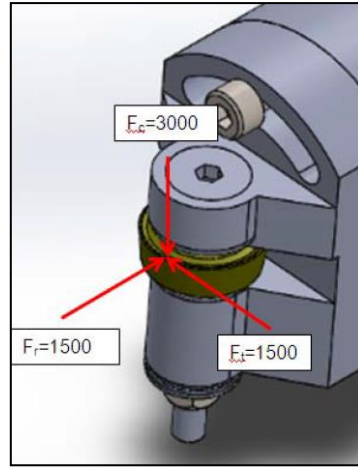
Değişikliklere bağlı olarak yeniden tasarlanmış ve imal edilmiş mil ile birlikte oluşturulan takımın son durumu Şekil 4.7’de modellenmiş olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Deneylerde kullanılan kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın katı modeli

#### 4.3 Tasarlanan Takımın Mukavemet Kontrolleri

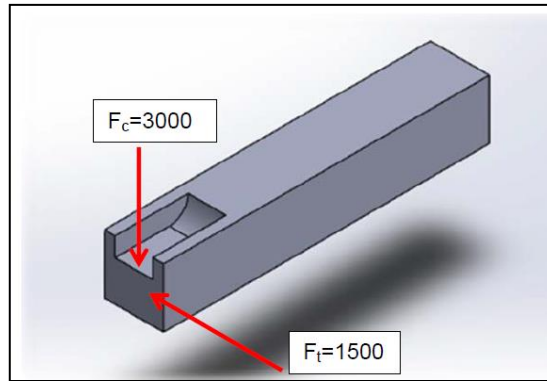
Çalışmada daha büyük kesme kuvvetleri altında çalışabilecek bir takım tasarımı amaçlandığından, hesaplamalarda ön deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri gözönünde bulundurularak; kesme kuvveti 3000 N, ilerleme 1500 N ve radyal kuvvet 1500 N alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Eğim açısı ile kuvvetlerin doğrultusu değişecektir. Burada hesaplamada, eğim açısı arttığında kesme kuvvetleri azaldığından ötürü, eğim açısı  $0^\circ$  kabul edilmiştir. Şekil 4.8’de takım üzerine gelecek kuvvetler görülmektedir.



Şekil 4.8 Talaş kaldırma esnasında takıma gelen kuvvetler

##### 4.3.1 Takım Sapı Kesit Mukavemet Kontrolü

Takım sapının katere dayandığı noktada eğilme momenti oluşur. Takım sap kesiti bu eğilme momentini taşımalıdır.  $F_t$  ve  $F_c$  kuvvetleri eğilme momentini oluşturur (Şekil 4.9). Radyal kuvvetin bası etkisi için hesaplama yapılmaya gerek görülmemiştir.



Şekil 4.9 Takım sapına gelen kuvvetler

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{s}$$

$$\sigma = \frac{M_e}{W} = \frac{\sqrt{F_t^2 + F_c^2} L}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{\sqrt{1500^2 + 3000^2} 86}{\frac{25 \cdot 17^2}{6}} = 239 \text{ N/mm}^2$$

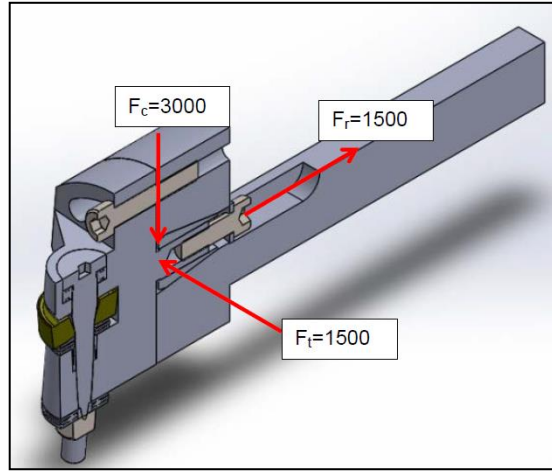
$$\tau = \frac{F_t + F_c}{A} = \frac{F_t + F_c}{b \cdot h} = \frac{1500 + 3000}{25 \cdot 17} = 10,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_B = \sqrt{239^2 + 3 \cdot 10,58^2} = 239,7 \leq \frac{700}{2}$$

239,7 ≤ 350 emniyetlidir.

#### 4.3.2 Başlık Çektirme Cıvatası Mukavemet Kontrolü

Pens ile takım sapına çektilerilerek bağlanan başlık cıvatası  $F_t$  ve  $F_c$  kuvvetleri ile kesmeye zorlanır. Pens çektilme kuvveti,  $F_r$  radyal kuvvetten daha fazla olmalıdır.  $F_r$  kuvveti iki kat alınmıştır. Şekil 4.10'da başlık bağlantısına gelen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Başlık bağlantısına gelen kuvvetler

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_{AK}}{s}$$

$$\sigma = \frac{2F_r}{A} = \frac{2F_r}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2 \cdot 1500}{\frac{\pi 12^2}{4}} = 26,6 \text{ N/mm}^2$$

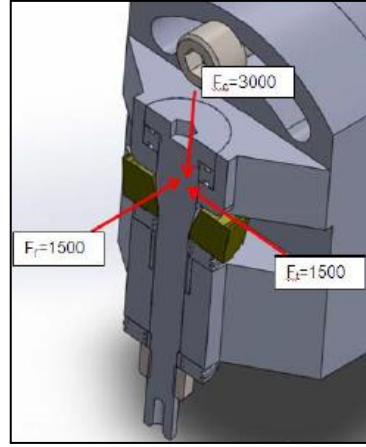
$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{\sqrt{F_t^2 + F_c^2}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\sqrt{1500^2 + 3000^2}}{\frac{\pi 12^2}{4}} = 29,68 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_B = \sqrt{26,6^2 + 329,68^2} = 57,88 \leq \frac{700}{2}$$

57,88 ≤ 350 emniyetlidir.

#### 4.3.3 Mil Mukavemet Kontrolü

Kesici yuvarlak ucun yatakladığı mil,  $F_t$  ve  $F_r$  kuvvetleri altında eğilmeye;  $F_c$  kuvveti altında basmaya zorlanmaktadır. Kesici yuvarlak uç, üst kısımdan radyal bilyalı; alt kısımdan iğneli rulmanlarla yataklanmıştır. Kuvvetler yatakların yaklaşık orta noktasındadır. Yataklar arası mesafe 24 mm, ortalama mil çapı 11 mm'dir. Şekil 4.11'de mile gelen kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Kesici yuvarlak ucu taşıyan mile gelen kuvvetler

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W} = \frac{\sqrt{F_t^2 + F_r^2} L}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{\sqrt{1500^2 + 1500^2} 12}{\frac{\pi 11^3}{32}} = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{3000}{\frac{\pi 11^2}{4}} = 31,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_b \leq \frac{\sigma_{AK}}{s}$$

$$245,71 + 31,6 = 277,31 \leq \frac{700}{2}$$

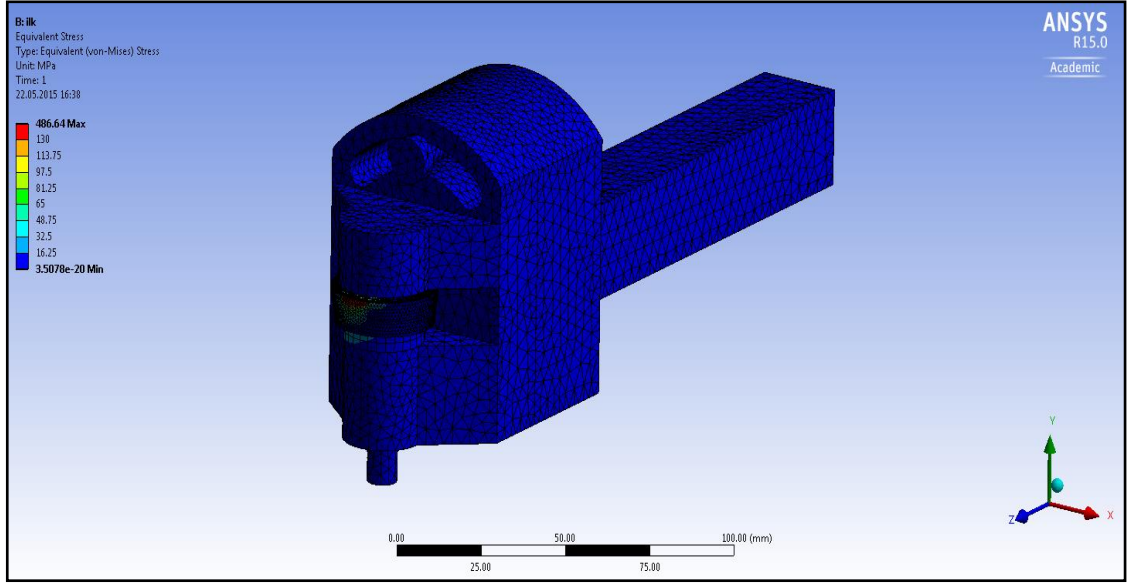
$$277,31 \leq 350 \text{ N/mm}^2$$

Yapılan hesaplamalara göre tasarımı yapılan takımın, daha yüksek kesme kuvvetlerine dayanım gösterebileceği, yeterli emniyeti sağladığı görülmüştür.

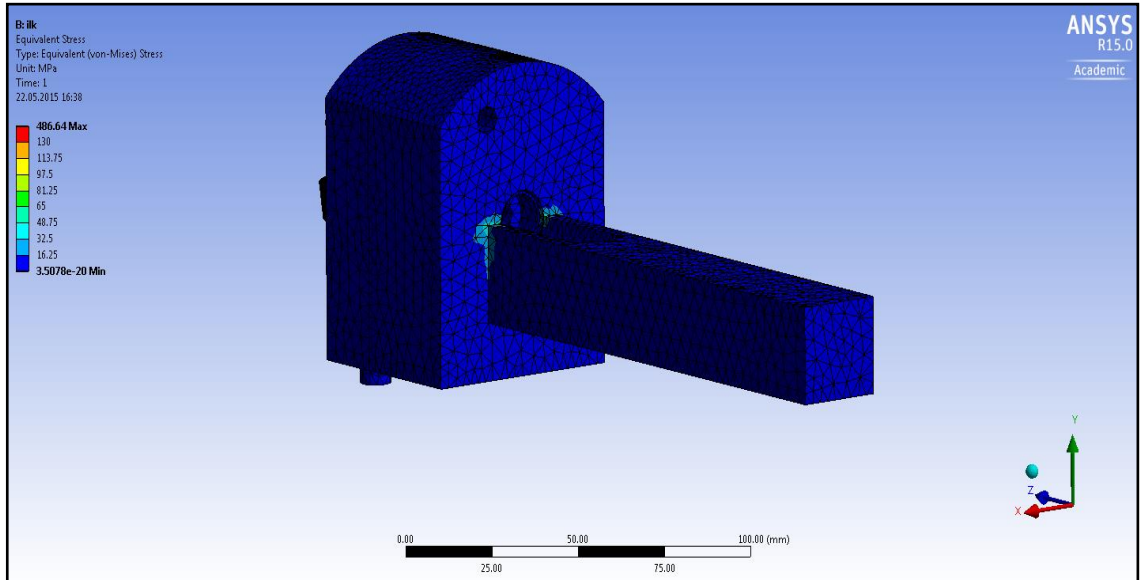
#### **4.4 Geliştirilen Tornalama Takımının Ansys Sonlu Elemanlar Programı ile Analizinin Yapılması ve İmalatı**

Ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak geliştirilen takımın statik gerilme analizi ve toplam deformasyon analizi yapılarak dönen yuvarlak uçlu takımın performansı değerlendirilmiştir.

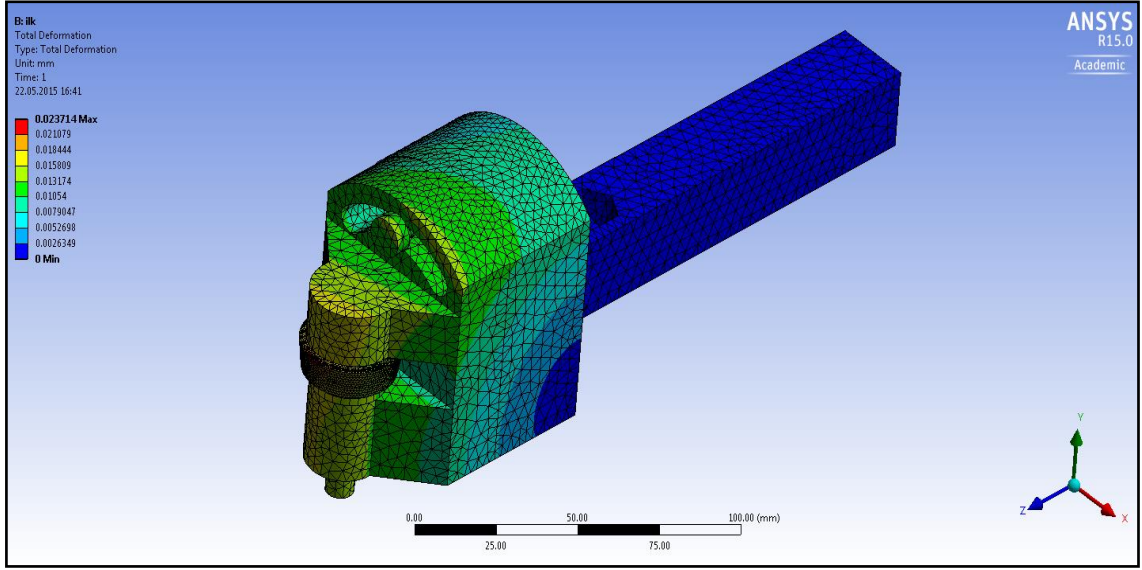
Döner yuvarlak uçlu takıma yapılan deneylerden elde edilen kesme kuvvetlerinden daha büyük kuvvet uygulanarak analiz yapılmıştır. Uygulanan kuvvetler döner yuvarlak uçlu kesici takımın uç noktasından tatbik edilmiştir. Kesme kuvveti 1500 N, radyal kuvvet 1200 N, ilerleme kuvveti 1000 N ve bileşke kuvvet olarak da 2165 N ayarlanarak takım ucuna tatbik edilmiştir. Ansys programıyla analizde döner yuvarlak uçlu takım, sap kısmından, CNC torna tezgahında takım tutucuya bağlandığı gibi 4 farklı yüzeyinden sabitlenmiştir. Mesh relevance değeri 75; relevance center, fine seçilmiştir. Triangle surface mesh tipi program kontrollü kullanılmıştır. Mesh eleman boyutu da program kontrollü olarak ayarlanmıştır. 138218 düğüm noktası ve 88459 eleman kullanılmıştır. Kuvvet uygulanan noktanın(takım ucu) mesh yoğunluğu arttırılmış Eş değer Von-Mises gerilme analizi uygulanmıştır. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de statik gerilme analizi sonuçları; Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de ise toplam deformasyon analizi sonuçları verilmektedir.



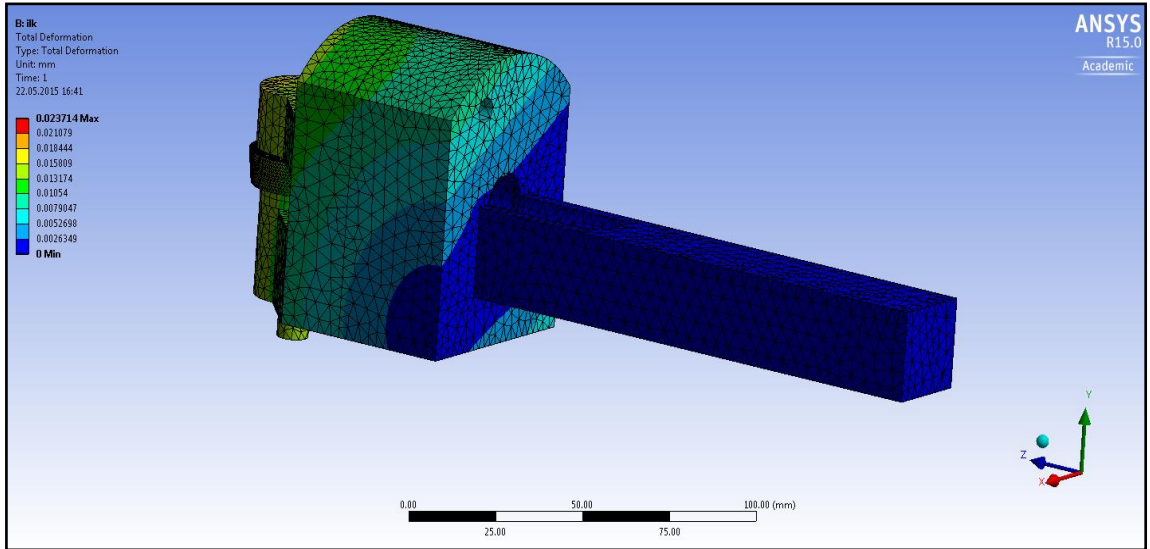
Şekil 4.12 Takımın ön kısmında statik gerilme analizi



Şekil 4.13 Takımın arka kısmında statik gerilme analizi



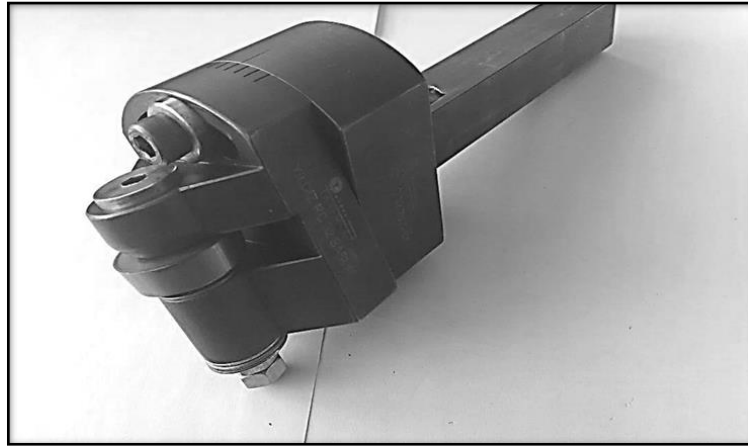
Şekil 4.14 Takımın ön kısmında toplam deformasyon



Şekil 4.15 Takımın arka kısmında toplam deformasyon

25 mm x 25 mm kesitli takım sap kısmının takım kafasına bağlantı hatları üzerinde tam köşe noktalarda takımın diğer kısımlarından daha fazla gerilme yoğunluğu olduğu (Şekil 4.13) gözlemlenmiştir. Ancak maksimum gerilme değeri, ön tasarımı yapılan ve deneylerde kullanılmış olan takımın mukavemet değerlerinin oldukça altında gerçekleştiği ve takım mukavemetinin öngörülen talaş kaldırma şartları için oldukça yeterli performansı sağlayabileceği gözlemlenmiştir. Maksimum deformasyon 0.023714 mm olarak gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve sonlu elemanlar analizi sonucunda takımın performansının, belirlenen talaş kaldırma parametreleriyle oluşacak yüklerin üzerindeki yüklerde de takımın yeterli dayanım gösterdiği

görülmüştür. Tasarlanan takım Takımsaş firmasına imal ettirilmiştir. Şekil 4.16’da imal ettirilen takım gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Takımsaş firması desteği ile imal edilen dönen yuvarlak uçlu takım

#### 4.5 İş parçası

Deneysel çalışmalarda üç farklı iş parçası kullanılmıştır. İş parçaları olarak AISI 1040 standartında alaşımsız imalat çeliği, 1.2343(X38CrMoV51) standartında sıcak iş takım çeliği ve 1.2738(40CrMnNiMo8-6-4) standartında plastik kalıp çeliği kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal bileşimleri aşağıdaki Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.1 AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi

| C    | Mn   | Si    | P    | S    | Al    | Cr    | Cu    | Sn    | Nb    | V     | Mo    |
|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.38 | 0.61 | 0.225 | 0.01 | 0.02 | 0.024 | 0.047 | 0.031 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |

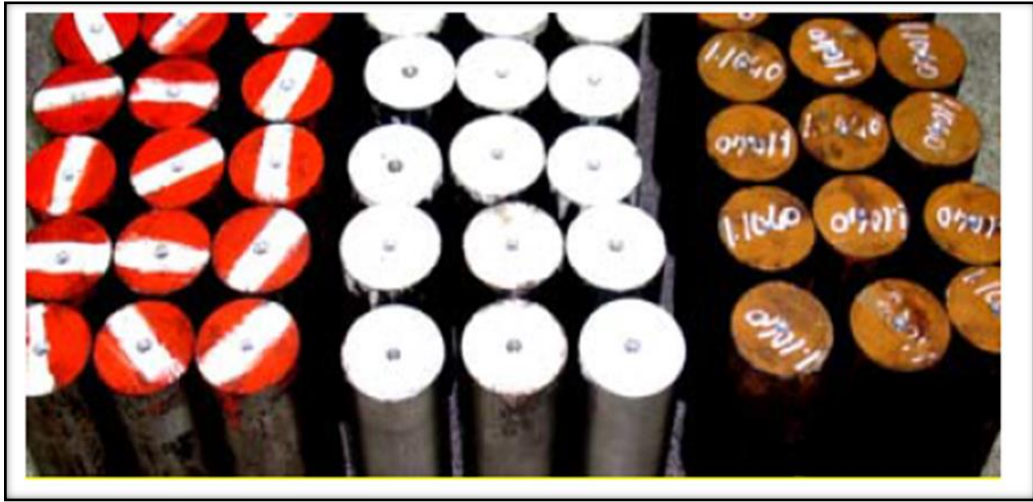
Çizelge 4.2 1.2343(X38CrMoV51) sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Mo   | V    |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 0.38 | 0.99 | 0.41 | 0.018 | 0.003 | 5.04 | 1.32 | 0.32 |

Çizelge 4.3 1.2738(40CrMnNiMo8-6-4) plastik kalıp çeliğinin kimyasal bileşimi

| C    | Mn   | Ni   | P     | S     | Cr   | Mo   |
|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 0.39 | 1.45 | 1.00 | 0.007 | 0.001 | 2.00 | 0.25 |

Deney parçalarının çapı 70 mm ve uzunluğu ise 280 mm şeklinde hazırlanmıştır. Temin edilen parçaların deneysel çalışmaya uygun hale getirilmesi için laboratuarda üzerinden sabit kesici uç ile bir miktar talaş kaldırma gerçekleştirildi ve iş parçalarını kullanılan tezgah ve dinamometreye uygun hale getirmek için, bir ucundan silindirik tornalama işlemi yapılarak 40 mm çapa düşürülmüştür. Ayrıca kullanılan iş parçalarının hepsine punta delikleri açılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.17’de punta delikleri açılmış iş parçaları ve Şekil 4.18’de deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiş iş parçaları gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Deneylerde kullanılan punta delikleri açılmış iş parçaları



Şekil 4.18 Deneyler için hazırlanan iş parçaları

#### 4.6 Deneylerde Kullanılan Yardımcı Ekipmanlar ve Cihazlar

Bütün deneyler Goodway marka GA-230 model CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. CNC torna tezgahı şekil 4.19’da gösterilmektedir.



Şekil 4.19 Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı

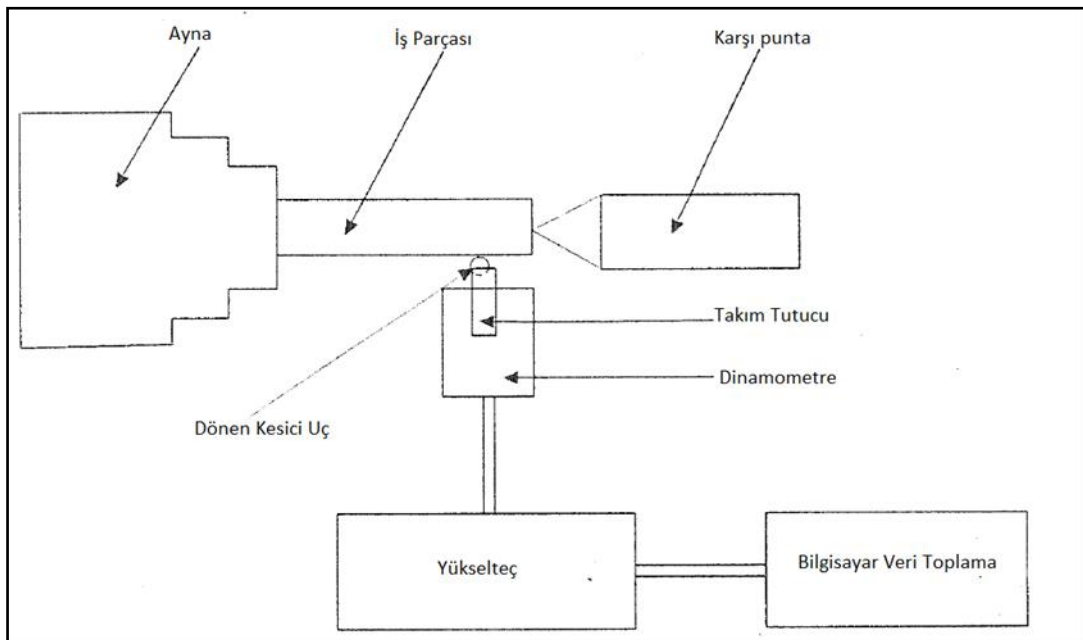
Deneysel çalışmalar boyunca belirlenen her bir kesme parametresinde kesme kuvvetleri ve işlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçüldü. Kesme kuvvetleri ölçümünde Kistler marka 9257BA 3- bileşenli kuvvet dinamometresi, Kistler 5233A amplifikatör modülü ve Kistler DynaWare yazılımı kullanılmıştır. Dinamometrede strain gagelerden gelen sinyalleri gerekli olan kuvvet değerine dönüştürmek ve kaydetmek için sistemlerde, amplifikatör (yükseletç), analog/dijital (A/D) dönüştürücü kart, veri okuma kartı, bilginin işleneceği bir bilgisayar programı ve bir güç kaynağı kullanıldı. Sistemin temelini oluşturan yük hücresinin analog girdisi kuvvet olup analog çıktısı da gerilim cinsindendir. Alınan bu sinyaller (kesme kuvveti sinyalleri) veri okuma kartları sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Aktarılan sinyal verileri DynoWare program vasıtası ile bilgisayara kayıt edilmiş ve grafikleri oluşturulmuştur. Dinamometre ile kesme kuvveti, radyal kuvvet ve ilerleme kuvvetleri ölçülmüştür. Kistler marka 9257BA model dinamometrenin, CNC torna tezgahının taretine bağlanabilmesi için ve yine aynı şekilde

takım tutucunun dinamometreye bağlanabilmesi için iki adet ara parça imal edilip montajı yapılarak hazır hale getirilmiştir.

Şekil 4.20’de dinamometre kontrol ünitesi gösterilmektedir. Kontrol ünitesinden maksimum 5 kN ve minimum 5000 N kuvvet aralık değerleri ayarlanabilmektedir. Şekil 4.21’de şematik olarak dinamometrenin kullanıldığı set, Şekil 4.22’de ise ve kontrol ünitesi ve bilgisayar veri toplama gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Kistler 5233A model kontrol ünitesi



Şekil 4.21 Dinamometrenin kullanımına ait setin şematik görünüşü



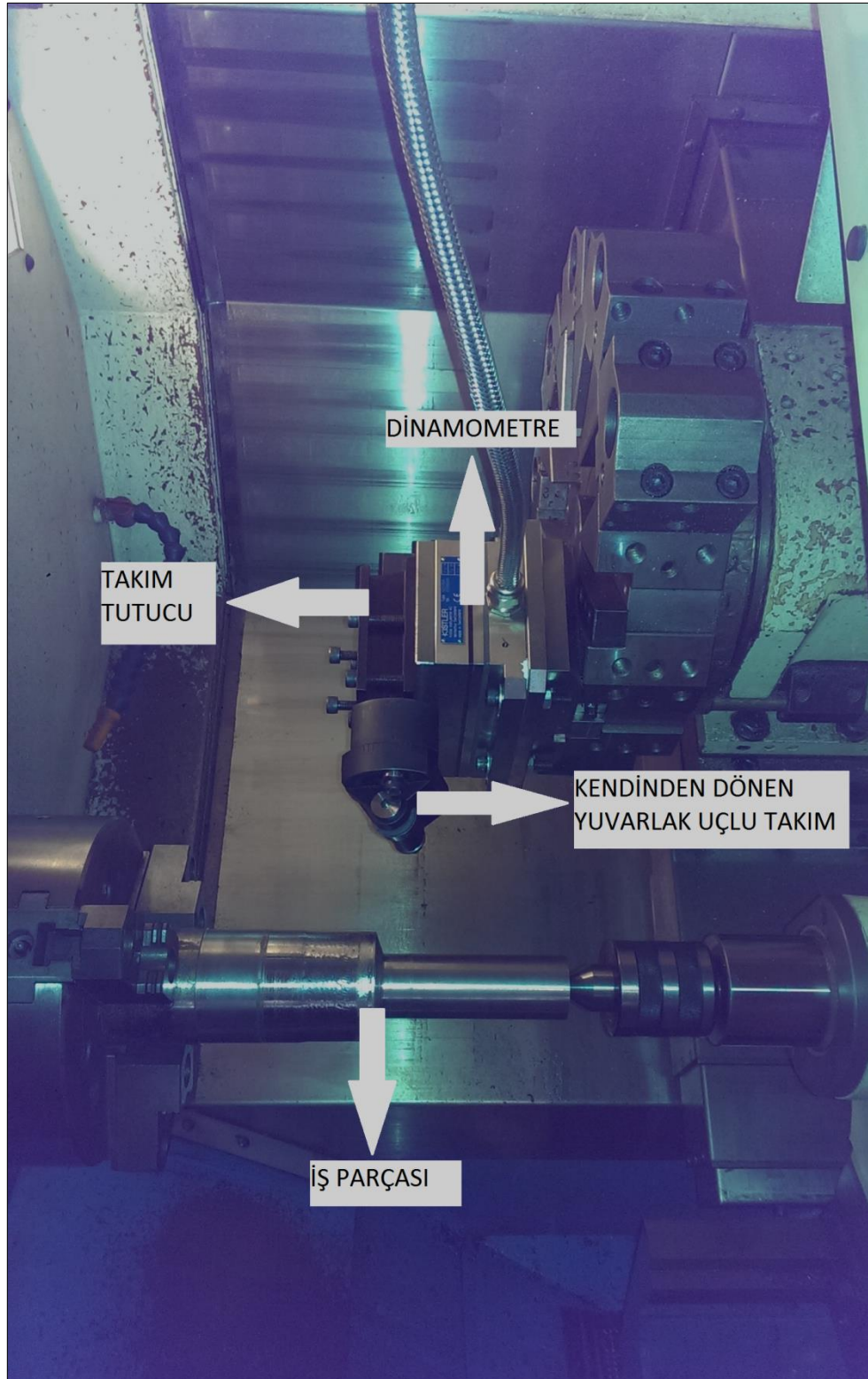
Şekil 4.22 Dinamometre kontrol ünitesi ve bilgisayar veri toplama

Seçilen bütün parametre değerleriyle deney parçalarının işlenmesinde yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü değerleri Mitutoyo SJ-210 marka portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülerek SurfTest paket program vasıtası ile bilgisayar ortamına aktarılmış ve kaydedilmiştir. Ölçümler için kullanılan pürüzlülük cihazı şekil 4.23’de verilmektedir.



Şekil 4.23 Ölçümlerde kullanılan Mitutoyo marka SJ-210 model pürüzlülük cihazı

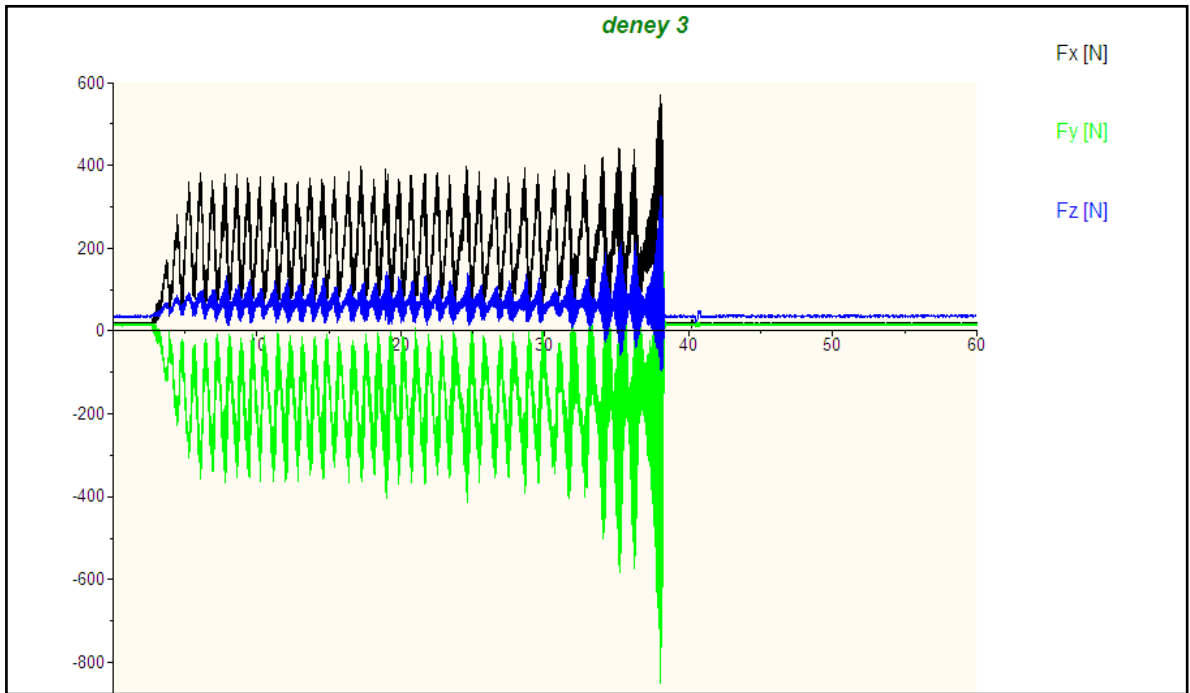
Şekil 4.24’de CNC torna tezgahında deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 4.24 CNC torna tezgahında deney düzeneğinin görünüşü

#### 4.7 Ön Deneyler

Tasarlanan ve imal edilen takım ile ilk olarak ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler için literatür araştırması yapılarak kesme parametreleri belirlenmiştir. Ön deneylerde kesme derinliği literatürdeki bu konu ile yapılan çalışmalardan en üst sınır olan 0.6 mm seçilmiştir. Kesme hızı 153 m/dak; ilerleme değerleri de 0.08 mm/dev ve 0.12 mm/dev olarak seçilmiştir. Eğim açısı önceki yapılan çalışmalarda 17°'den 75°'ye kadar test edilmiştir. Eğim açısının değişmesi, iş parçası takım arasındaki temas boyunun değişmesine neden olmaktadır. Bu da kesme kuvvetlerinde artma veya azalma olarak etki etmektedir. Ayrıca takımın kendi kendine dönebilmesi için de belirli bir eğim açısı gerekmektedir. İlk önce geliştirilen takımın küçük eğim açılarında dönüp dönmediğini belirlemek için 0° ve 5°'de eğim açıları deneyler yapılmıştır. Ön deneyler için AISI 1040 imalat çeliği kullanılmıştır. Deneylerde ilk olarak eğim açısı 5° olarak seçilmiştir. Fakat bu değerde takımın ucunun çoğu kesme şartlarında dönmeden talaş kaldırdığı tespit edilmiş ve 5° eğim açısının kullanılmaması gerektiği anlaşılmıştır. 0° eğim açısında da takım, kendinden dönemediği için bu değer de kullanılmamıştır. Belirtilen parametreler esas alınarak yapılan ön deneylerde kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvveti grafiklerinden bir tanesi Şekil 4.25'da verilmektedir.



Şekil 4.25 Ön deneyde elde edilen kesme kuvvetleri ( $V=153\text{m/dak}$ ,  $a=0.6\text{mm}$ ,  $f=0.08$ ,  $i=5^\circ$ )

#### 4.8 Deney Şartları ve Uygulanması

Tasarlanıp imal edilen kendinden dönen yuvarlak uçlu tornalama takımı kullanılarak, kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkileri ve işlenen parçalar üzerinde oluşan pürüzlülük değerlerine etkileri incelenecektir. Kullanılan kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve eğim açısıdır.

Kesme hızı ve ilerleme değerleri literatürde daha önce yapılmış çalışmalar ve kesici ucun özelliğine göre üç farklı değerde seçilmiştir. Kesme hızları 100, 130, 160 m/dak; ilerlemeler ise 0.05, 0.1, 0.2 mm/dev olarak ayarlanmıştır.

Deneyler için kesme derinliği 0.5, 1, 1.5 mm olarak üç farklı değerde seçilmiştir. Tasarlanan takım ile daha önce literatürde çalışılmamış 1.5 mm kesme derinliğinde çalışılması düşünülmüştür. Takım ile 1.75 mm kesme derinliğinde de bir ön deneme çalışması yapılmış ve talaş kaldırma işlemi başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Ön deneylerde 5° eğim açısı takımın ucunun çoğu kesme parametresi değerlerinde dönmeden talaş kaldırdığı tespit edildiği için 5° eğim açısı kullanılmamıştır. 0° eğim açısında takım kendinden dönemediği için bu değer de deneylerde kullanılmamıştır. Eğim açısı değerleri 10°, 15° ve 30° olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan dönen yuvarlak uçlu takımın talaş açısı 0°'dir. Gözlem için bütün kesme şartlarında talaş numuneleri toplanmıştır. Bütün deneyler kesme sıvısı kullanılmadan kuru kesme şeklinde uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

|                     |      |     |     |
|---------------------|------|-----|-----|
| Kesme hızı(m/dak)   | 100  | 130 | 160 |
| İlerleme(mm/dev)    | 0.05 | 0.1 | 0.2 |
| Kesme derinliği(mm) | 0.5  | 1   | 1.5 |
| Eğim Açısı(°)       | 10   | 15  | 30  |

İşlenen iş parçasının çapına göre CNC torna tezgahında devir sayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$n = V * 1000 / \pi * D \quad (4.1)$$

Burada, n devir sayısını; V kesme hızını, D parça çapını göstermektedir.

CNC torna tezgahında deneyleri gerçekleştirmek için amaca yönelik bir programı yazılmıştır. İş parçası işlendikçe çap küçüldüğünden dolayı istenilen kesme hızını elde edebilmek için her işlemde devir sayısı program ile değiştirilmiştir.

O0019 ;

G21 ;

G99 ;

G97 S491 M04 ;

G01 X3. Z1. F0.05 ;

G01 X-1. ;

G01 Z-65. ;

G01 X3. ;

G00 X10. Z1. ;

M05 ;

M30 ;

Deneylerde kesme parametrelerinin uygulanması, Taguchi deneysel tasarım matrisine göre belirlenmiştir. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı kullanılarak analiz yapılmıştır. L9 karma deney tasarımı Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Taguchi L9 deney tasarımı

| Deney No | (A)<br>Kesme<br>Hızı(m/dak) | (B)<br>İlerleme<br>(mm/dev) | (C)<br>Kesme<br>Derinliği(mm) | (D)<br>Eğim Açısı<br>(°) |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1        | 100                         | 0.05                        | 0.5                           | 10                       |
| 2        | 100                         | 0.1                         | 1                             | 15                       |
| 3        | 100                         | 0.2                         | 1.5                           | 30                       |
| 4        | 130                         | 0.05                        | 1                             | 30                       |
| 5        | 130                         | 0.1                         | 1.5                           | 10                       |
| 6        | 130                         | 0.2                         | 0.5                           | 15                       |
| 7        | 160                         | 0.05                        | 1.5                           | 15                       |
| 8        | 160                         | 0.1                         | 0.5                           | 30                       |
| 9        | 160                         | 0.2                         | 1                             | 10                       |

Belirlenen kesme parametreleri ile üç farklı iş parçası için ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Her bir iş parçası için 9 farklı parametrede deney uygulanarak toplamda 27 adet deney yapılmıştır. Bütün deneylerde dinamometre ile kesme kuvvetleri, radyal kuvvetler, ilerleme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Dinamometre ile ölçülen kuvvetler DynoWare yazılımı yardımıyla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Aynı şekilde yüzey pürüzlülük değerleri de SurfTest yazılımı ile bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

#### 4.9 Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge 4.5'te verilen Taguchi ortogonal deney tasarımına göre üç farklı iş parçası kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri, radyal kuvvetler ve ilerleme kuvvetleri Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'te verilmiştir.

Çizelge 4.6 AISI 1040 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler

| Deney No | Malzeme   | Kesme Kuvveti (N) | Radial Kuvvet (N) | İlerleme Kuvveti (N) |
|----------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1        | AISI 1040 | 142,76            | 182,87            | 86,08                |
| 2        | AISI 1040 | 480,20            | 458,39            | 250,73               |
| 3        | AISI 1040 | 820,56            | 948,33            | 792,28               |
| 4        | AISI 1040 | 337,34            | 366,78            | 245,14               |
| 5        | AISI 1040 | 652,03            | 633,83            | 290,27               |
| 6        | AISI 1040 | 366,78            | 432,55            | 177,48               |
| 7        | AISI 1040 | 400,07            | 448,10            | 250,45               |
| 8        | AISI 1040 | 283,25            | 370,19            | 208,32               |
| 9        | AISI 1040 | 599,92            | 618,56            | 226,63               |

Çizelge 4.7 1.2738 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler

| Deney No | Malzeme | Kesme Kuvveti (N) | Radial Kuvvet (N) | İlerleme Kuvveti (N) |
|----------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1        | 1.2738  | 187,28            | 278,64            | 102,59               |
| 2        | 1.2738  | 520,85            | 582,95            | 282,95               |
| 3        | 1.2738  | 978,94            | 1035,90           | 816,44               |
| 4        | 1.2738  | 366,91            | 492,87            | 257,14               |
| 5        | 1.2738  | 630,28            | 706,85            | 308,54               |
| 6        | 1.2738  | 415,51            | 507,23            | 201,30               |
| 7        | 1.2738  | 433,94            | 558,48            | 287,90               |
| 8        | 1.2738  | 273,31            | 390,08            | 219,91               |
| 9        | 1.2738  | 697,31            | 728,17            | 283,32               |

Çizelge 4.8 1.2343 iş parçası malzemesi için ölçülen kuvvetler

| Deney No | Malzeme | Kesme Kuvveti (N) | Radyal Kuvvet (N) | İlerleme Kuvveti (N) |
|----------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1        | 1.2343  | 140,38            | 211,85            | 85,00                |
| 2        | 1.2343  | 479,11            | 526,17            | 245,79               |
| 3        | 1.2343  | 1250,97           | 1175,19           | 1014,65              |
| 4        | 1.2343  | 311,20            | 395,75            | 228,00               |
| 5        | 1.2343  | 655,10            | 659,82            | 297,25               |
| 6        | 1.2343  | 392,31            | 452,42            | 189,76               |
| 7        | 1.2343  | 355,22            | 432,24            | 226,49               |
| 8        | 1.2343  | 220,71            | 300,65            | 190,83               |
| 9        | 1.2343  | 545,36            | 780,93            | 222,49               |

Yapılan her deney sonrasında iş parçalarının işlenmiş yüzeylerinin aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo marka SJ-210 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile her numuneden 3 ölçüm yapılarak ölçülmüş, elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 İş parçası malzemelerinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

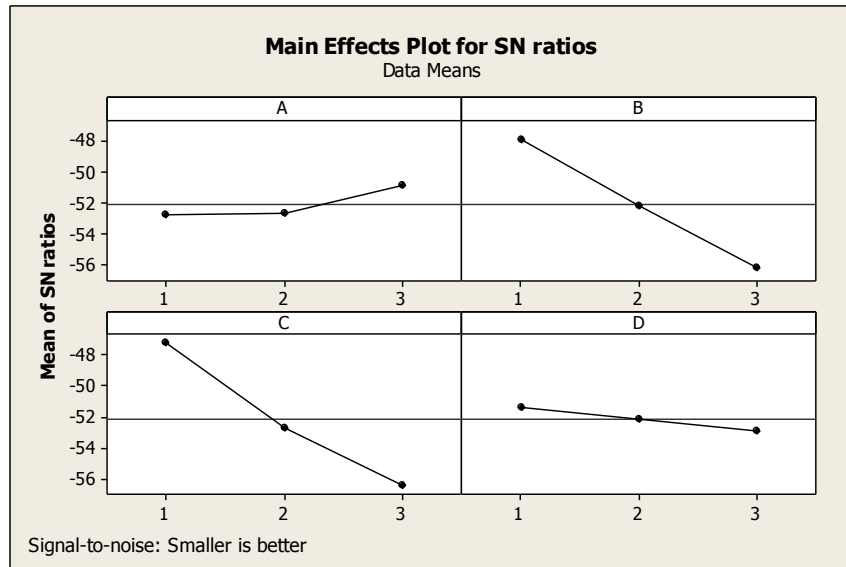
| Deney No | AISI 1040 İş Parçası Malzemesi<br>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü<br>(Ra- $\mu$ m) | 1.2738 İş Parçası Malzemesi<br>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü<br>(Ra- $\mu$ m) | 1.2343 İş Parçası Malzemesi<br>Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü<br>(Ra- $\mu$ m) |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 1,375                                                                         | 1,416                                                                      | 1,304                                                                      |
| 2        | 1,310                                                                         | 1,381                                                                      | 0,986                                                                      |
| 3        | 2,770                                                                         | 2,876                                                                      | 2,636                                                                      |
| 4        | 1,212                                                                         | 1,237                                                                      | 1,173                                                                      |
| 5        | 1,532                                                                         | 1,634                                                                      | 1,367                                                                      |
| 6        | 1,056                                                                         | 0,728                                                                      | 0,847                                                                      |
| 7        | 0,975                                                                         | 0,914                                                                      | 0,885                                                                      |
| 8        | 0,943                                                                         | 1,128                                                                      | 1,082                                                                      |
| 9        | 1,225                                                                         | 1,150                                                                      | 1,021                                                                      |

#### 4.9.1 Sonuçların Taguchi Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı kullanılarak, Çizelge 4.5'te verilen belirlenen değerlerle yapılan deneyler sonucunda, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'te gösterilen kuvvetler ve Çizelge 4.9'ta gösterilen yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Elde ettiğimiz bu değerlerin Taguchi Yöntemi ile en küçük kuvvet en iyidir ve en küçük yüzey pürüzlülük değeri en iyidir ilkesi (talaşlı imalatta kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülük değerlerinin küçük olması istenmektedir) ile analizleri yapılmıştır. Yapılan Taguchi analizi sonucu elde edilen sinyal/gürültü cevap tabloları Çizelge 4.10-4.11-4.12'de ve sinyal/gürültü grafikleri Şekil 4.26-4.27-4.28 her iş parçası için ayrı ayrı verilmektedir. Analiz sonucunda kesme parametrelerinin etkinlik dereceleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 AISI 1040 iş parçası kesme kuvveti için sinyal gürültü cevap tablosu

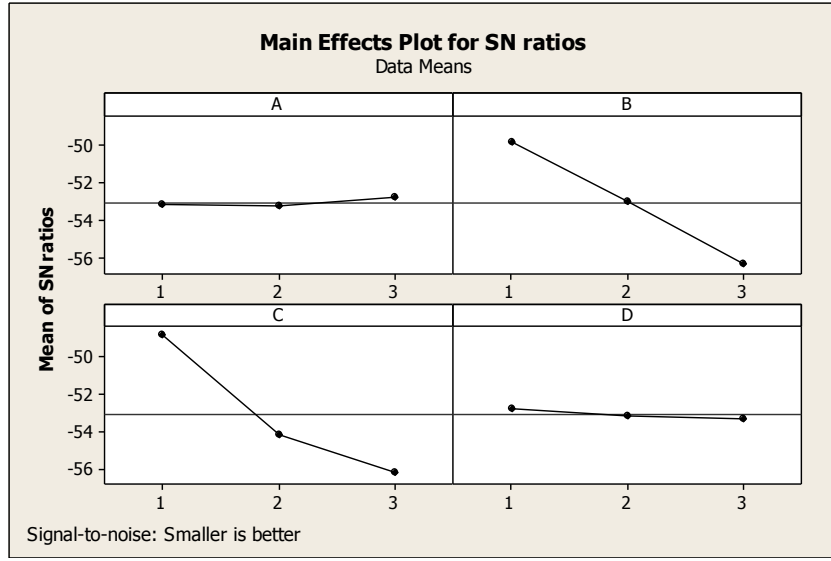
| Level | A      | B      | C      | D      |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1     | -51.67 | -48.57 | -47.81 | -51.65 |
| 2     | -52.71 | -52.99 | -53.25 | -52.32 |
| 3     | -52.22 | -55.04 | -55.54 | -52.63 |
| Delta | 1.04   | 6.48   | 7.73   | 0.98   |
| Rank  | 3      | 2      | 1      | 4      |



Şekil 4.26 1040 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi

Çizelge 4.11 1.2738 iş parçası kesme kuvveti için sinyal gürültü cevap tablosu

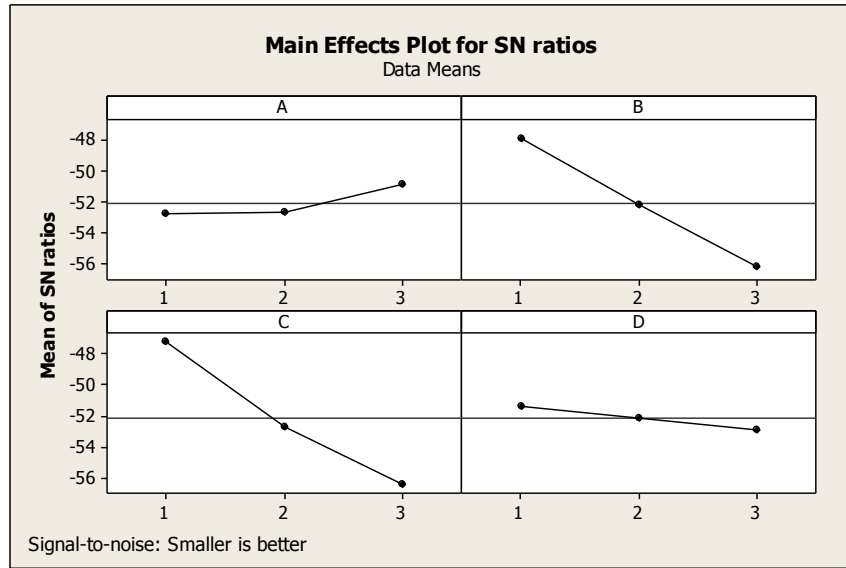
| Level | A      | B      | C      | D      |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1     | -53.20 | -49.83 | -48.85 | -52.77 |
| 2     | -53.22 | -53.02 | -54.16 | -53.15 |
| 3     | -52.78 | -56.35 | -56.18 | -53.28 |
| Delta | 0.43   | 6.52   | 7.33   | 0.51   |
| Rank  | 4      | 2      | 1      | 3      |



Şekil 4.27 1.2738 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi

Çizelge 4.12 1.2343 iş parçası kesme kuvveti için sinyal/gürültü cevap tablosu

| Level | A      | B      | C      | D      |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1     | -52.83 | -47.94 | -47.23 | -51.34 |
| 2     | -52.69 | -52.27 | -52.73 | -52.16 |
| 3     | -50.87 | -56.18 | -56.43 | -52.89 |
| Delta | 1.96   | 8.24   | 9.20   | 1.56   |
| Rank  | 3      | 2      | 1      | 4      |



Şekil 4.28 1.2343 iş parçası kesme kuvveti sinyal/gürültü etkisi

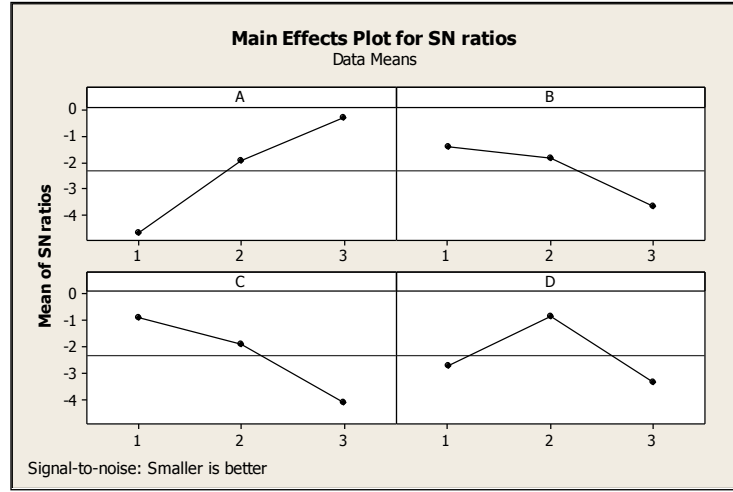
Yapılan Taguchi analizi sonucunda en küçük değer en iyidir yaklaşımı kullanılarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkinlikleri her iş parçası malzemesi için belirlenmiştir.

Buna göre 1040 iş parçası için kesme kuvvetine etkinlik sırası kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve eğim açısıdır. 1.2738 iş parçası için kesme kuvvetine etkinlik sırası, kesme derinliği, ilerleme, eğim açısı ve kesme hızıdır. 1.2343 iş parçası için kesme kuvvetine etkinlik sırası, kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve eğim açısıdır.

İş parçalarının işleme sonrası yüzey pürüzlülük Taguchi analizleri de aşağıdaki Çizelge 4.13-4.14-4.15 ve Şekil 4.29-4.30-4.31' de verilmektedir.

Çizelge 4.13 1040 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu

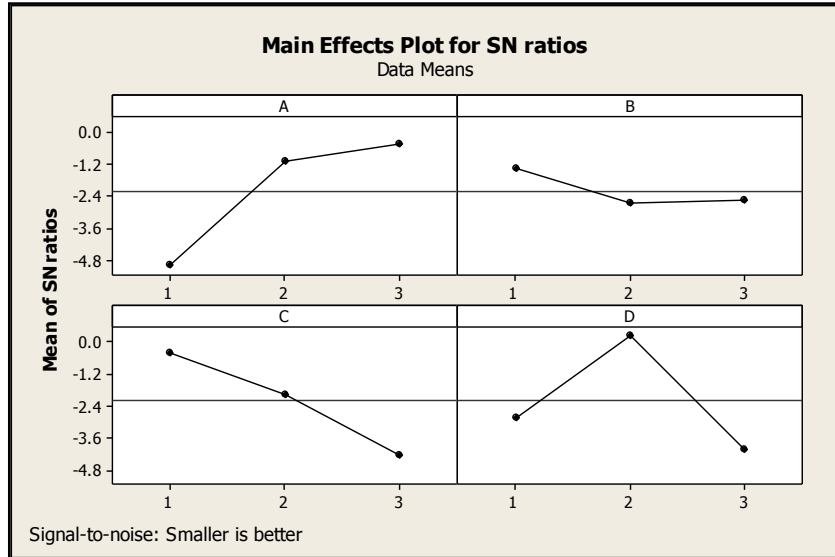
| Level | A       | B       | C       | D       |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| 1     | -4.6537 | -1.4054 | -0.9006 | -2.7290 |
| 2     | -1.9457 | -1.8339 | -1.9142 | -0.8663 |
| 3     | -0.3233 | -3.6834 | -4.1078 | -3.3274 |
| Delta | 4.3304  | 2.2780  | 3.2072  | 2.4611  |
| Rank  | 1       | 4       | 2       | 3       |



Şekil 4.29 1040 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi

Çizelge 4.14 1.2738 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu

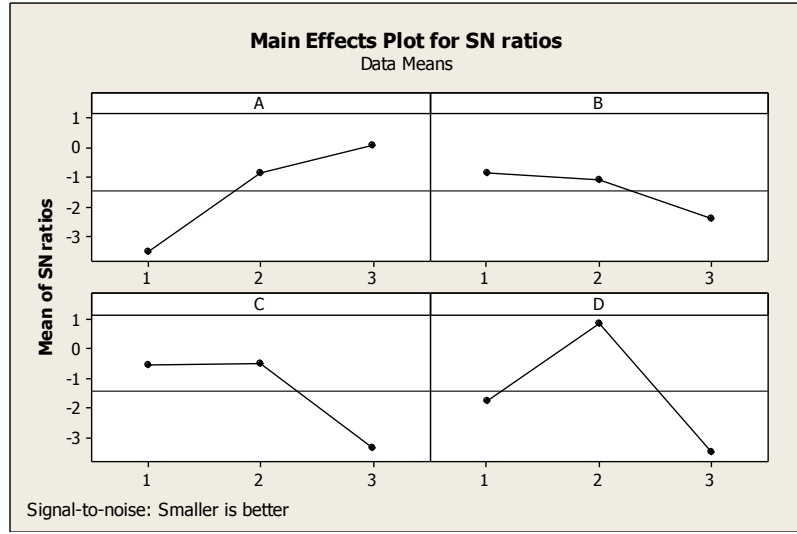
| Level | A       | B       | C       | D       |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| 1     | -4.9922 | -1.3625 | -0.4161 | -2.8263 |
| 2     | -1.1113 | -2.6752 | -1.9530 | 0.2470  |
| 3     | -0.4724 | -2.5381 | -4.2068 | -3.9965 |
| Delta | 4.5197  | 1.3127  | 3.7907  | 4.2434  |
| Rank  | 1       | 4       | 3       | 2       |



Şekil 4.30 1.2738 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi

Çizelge 4.15 1.2343 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal gürültü cevap tablosu

| Level | A        | B        | C        | D        |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | -3.53400 | -0.86938 | -0.51057 | -1.71895 |
| 2     | -0.86405 | -1.07226 | -0.47392 | 0.87531  |
| 3     | 0.07071  | -2.38570 | -3.34285 | -3.48370 |
| Delta | 3.60471  | 1.51632  | 2.86893  | 4.35901  |
| Rank  | 2        | 4        | 3        | 1        |



Şekil 4.31 1.2343 iş parçası yüzey pürüzlülüğü için sinyal/gürültü etkisi

Yüzey pürüzlülüğü değeri için de en küçük değer en iyidir yaklaşımı kullanılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

1040 iş parçası için yüzey pürüzlülüğü etkinlik sırası, kesme hızı, kesme derinliği, eğim açısı ve ilerlemedir. 1.2738 iş parçası için yüzey pürüzlülüğü etkinlik sırası eğim açısı, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemedir. 1.2343 iş parçası için yüzey pürüzlülüğü etkinlik sırası eğim açısı, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemedir.

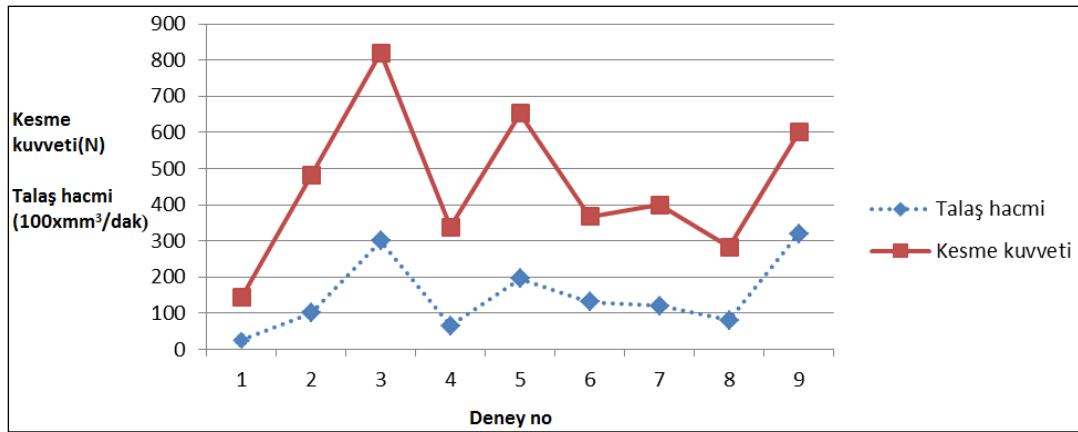
Geleneksel takımlarda ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkisi olmasına rağmen, dönen yuvarlak uçlu takımda ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin minimum olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametre dönen yuvarlak uçlu takımın eğim açısıdır. İkinci olarak da kesme hızının etkisi görülmektedir. AISI 1040 iş parçasında farklı kesme parametrelerinin etkinliklerinin olmasının sebebi iş parçası malzemesinin özelliklerinin, talaşın formu,

talaşın kırılması, dönen yuvarlak uçlu takımlarda titreşimlerin etkileri ve bunun sonucunda da yüzey pürüzlülüğüne etkisi olarak düşünülmüştür. Eğim açısı değişimine göre talaş oluşumu ve kesme kuvvetleri de değişmektedir. Literatürde görülen önceki çalışmalarda da dönen yuvarlak uçlu takım ile yapılan kesme işlemlerinde eğim açısının kuvvetler üzerine etkileri önemli olduğu görülmektedir.

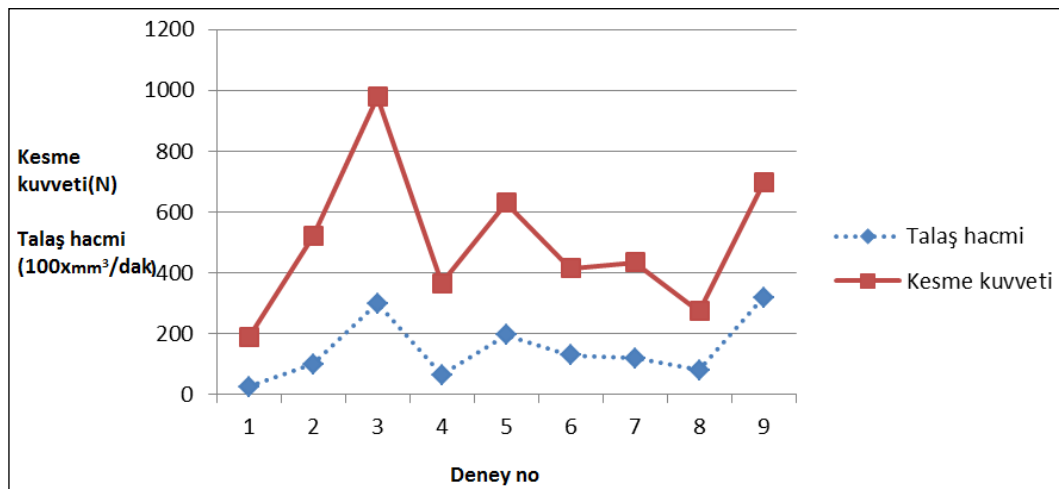
#### 4.9.2 Talaş Hacmi ve Kesme Kuvveti

Taguchi deneysel tasarıma göre belirlenen deney şartlarında gerçekleştirilen deneylerde talaş hacmi ile kesme kuvveti grafikleri çizilirse, Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’de gösterildiği gibi aralarında ilişki olduğu görülür. Teorik olarak tek uçlu takımlarla talaş kaldırmada talaş hacmi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

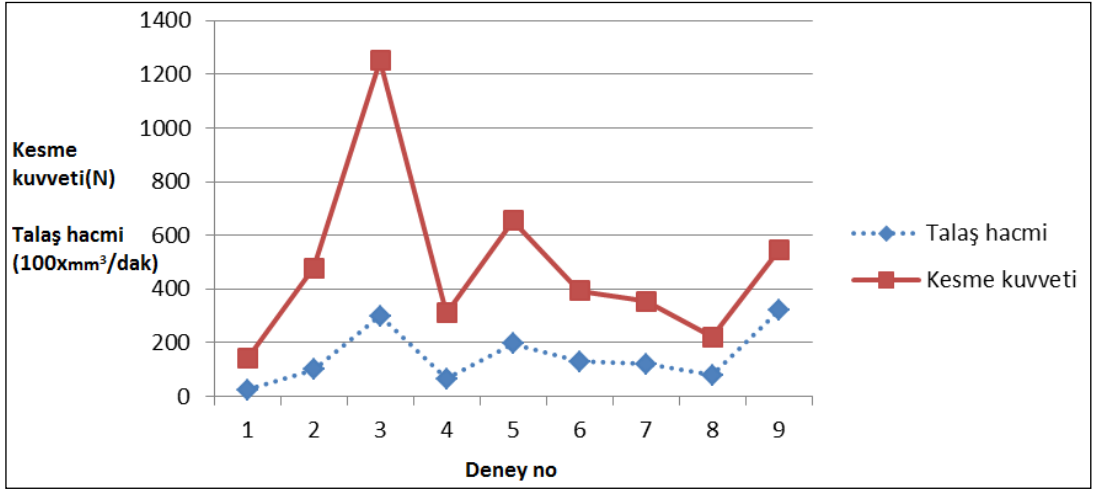
$$V_T = V \times a_p \times s \quad (4.2)$$



Şekil 4.32 1040 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi



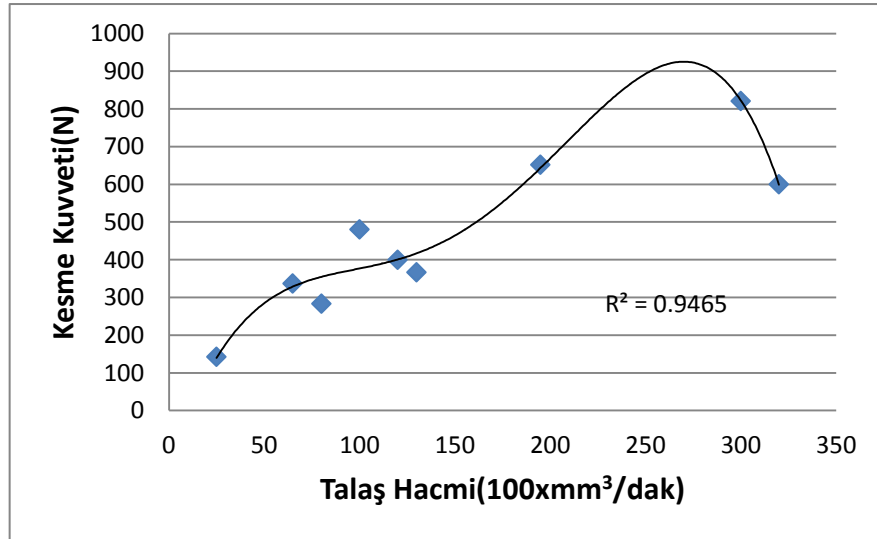
Şekil 4.33 1.2738 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi



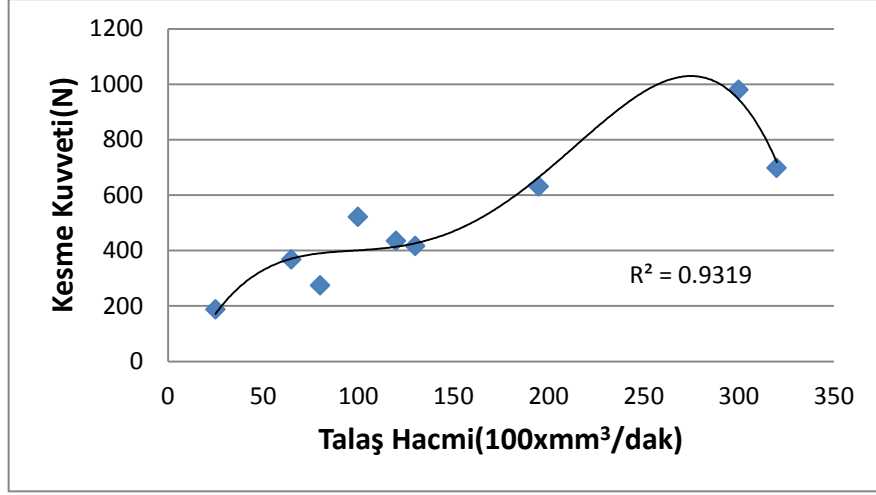
Şekil 4.34 1.2343 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi

Grafiklerde görüldüğü gibi talaş hacmi grafiği, kesme kuvveti grafiği ile benzer karakter göstermektedir.

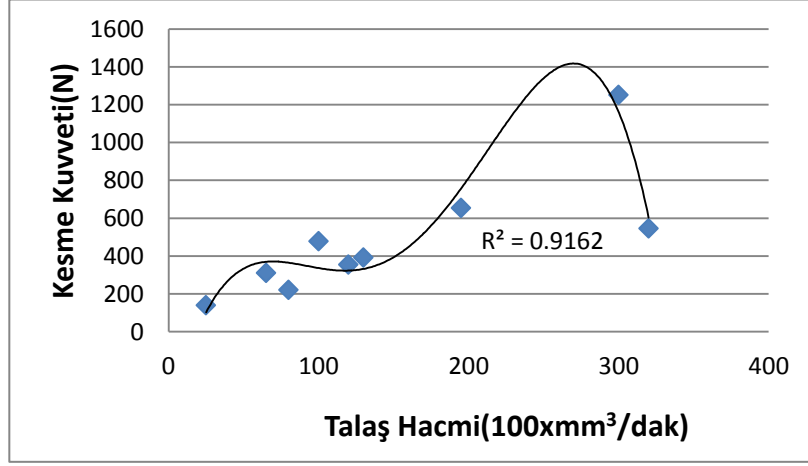
Farklı malzemeler için talaş hacmi-kesme kuvveti grafikleri incelendiğinde, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37’de görüldüğü üzere, talaş hacminin artması ile kesme kuvvetinin arttığı; fakat iş parçası malzemesine göre değişen bir karakteristik gösterdiği görülmüştür. Bunun, malzemelerin özgül kesme kuvvetlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.35 1040 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 4.36 1.2738 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 4.37 1.2343 iş parçası talaş hacmi ve kesme kuvveti ilişkisi

Kesme kuvvetleri talaş hacmi ile klasik ortogonal talaş kaldırmada doğrusal bir ilişki gösterirken, dönen yuvarlak uçlu kesici takımlarla ortogonal talaş kaldırıldığında 4. dereceden bir polinomla belirtilebilen bir karakteristik göstermektedir. Bu farklılık, bu takımlarda ucun dönmesi ve bu talaş kaldırmada  $a.s=b.h$  eşitliğinin sağlanamamasındandır.

#### 4.9.3 Dönen Yuvarlak Uçlu Takım ile İşleme Sonrası Talaşın Kırılmasının İncelenmesi

Üç farklı iş parçası için talaş formları aynı deney şartlarında benzerlik göstermektedir. Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de, en küçük ve en yüksek kesme şartları olan sırasıyla, birinci ve üçüncü deney şartlarında her iş parçası için kırılan talaşlar verilmiştir.



Şekil 4.38 1040 iş parçasından 1.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.05\text{mm/dev}$ ,  $a=0.5\text{mm}$ ,  $i=10^\circ$ ) kırılan talaşlar



Şekil 4.39 1040 iş parçasından 3.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.2\text{mm/dev}$ ,  $a=1.5\text{mm}$ ,  $i=30^\circ$ ) kırılan talaşlar



Şekil 4.40 1.2738 iş parçasından 1.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.05\text{mm/dev}$ ,  $a=0.5\text{mm}$ ,  $i=10^\circ$ ) kırılan talaşlar



Şekil 4.41 1.2738 iş parçasından 3.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.2\text{mm/dev}$ ,  $a=1.5\text{mm}$ ,  $i=30^\circ$ ) kırılan talaşlar



Şekil 4.42 1.2343 iş parçasından 1.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.05\text{mm/dev}$ ,  $a=0.5\text{mm}$ ,  $i=10^\circ$ ) kırılan talaşlar



Şekil 4.43 1.2343 iş parçasından 3.deney şartı için ( $V=100\text{m/dak}$ ,  $f=0.2\text{mm/dev}$ ,  $a=1.5\text{mm}$ ,  $i=30^\circ$ ) kırılan talaşlar

Talaşın dönen uç talaş yüzeyi ile temasta olması nedeniyle, talaşın akışı klasik tek uçlu takımlardaki talaş akışından farklılık göstermekte ve kendinden dönen yuvarlak uçlu takımda dönme hareketi nedeniyle talaş kırılmaktadır. Talaş, dönen yuvarlak uçlu takım ile istenilen şekilde kırılmakta ve kabul edilebilen talaşlar oluşmaktadır.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dönen yuvarlak uçlu takımların kullanılmasıyla, titanyum ve nikel bazlı malzemelerin, talaşlı işlenmesi zor malzemelerin ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde takım ömrünün artabileceği, daha düşük kesme sıcaklıklarının elde edilebileceği, daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri ve daha düşük kesme kuvvetleri elde edilebileceği literatürdeki önceki çalışmalardan görülmektedir. Dönen yuvarlak uçlu takımlar kullanılarak talaşlı işleme teknolojisindeki gelişmeler yapılan çalışmalarla devam etmektedir.

Bu çalışmada, kendinden dönen yuvarlak uçlu takım kullanılarak 1040 imalat çeliği, 1.2738((40CrMnNiMo8-6-4) plastik kalıp çeliği ve 1.2343(X38CrMoV51) sıcak iş takım çeliği olmak üzere üç farklı malzeme CNC torna tezgahında işlenmiştir. Deneyler için kendinden dönen yuvarlak uçlu takım tasarlanıp imal ettirilmiştir. Kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve eğim açısı Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre belirlenip, deneyler uygulanarak kesme kuvvetleri ve işlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne kesme parametrelerinin etkileri belirlenmiştir.

Kendinden dönen yuvarlak uçlu takımla yapılan çalışmada kesici takımın eğim açısının önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Eğim açısı 0° ve 5° alınarak ön deneyler uygulanmış; fakat 5° eğim açısında kesici yuvarlak ucun dönmesinde süreksizlik meydana geldiği görülmüştür . 0° eğim açısında ise takım hiç dönmeden sıvanarak talaş kaldırmaktadır. İncelenen literatür çalışmalarında da 0° eğim açısında takımın dönmediği, belirli bir eğim açısının olması gerektiği söylenmektedir. Buradan takımın iyi

performans gösterebilmesi için en küçük eğim açısının  $10^\circ$  olarak ayarlanması gerektiği belirlenmiştir. Takımın en iyi döndüğü eğim açısının bu çalışma şartlarında  $15^\circ$  olduğu görülmüştür.

Yapılan Taguchi analizinde kesme kuvvetleri için 1040 kalitede iş parçası için kesme parametrelerinin etkinlik sırası kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve eğim açısıdır. 1.2738 malzemesi için etkinlik sırası kesme derinliği, ilerleme, eğim açısı ve kesme hızıdır. 1.2343 malzemesi için etkinlik sırası kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve eğim açısı olduğu görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü için yapılan Taguchi analizinde 1040 malzemesi için etkinlik sırası kesme hızı, kesme derinliği, eğim açısı ve ilerlemedir. 1.2738 malzemesi için etkinlik sırası eğim açısı, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemedir. 1.2343 malzemesi için etkinlik sırası eğim açısı, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme olduğu görülmüştür. Sabit takımlarda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en etkin parametre ilerleme olmasına rağmen dönen takımlarda ilerlemenin etkisinin az olduğu görülmüştür. Bu etkinin, dönen yuvarlak ucun çapının büyük olup, kesen ağız eğriliğinin sabit takımlara göre fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Eğim açısının özellikle yüzey pürüzlülük değerlerinde her malzeme için en etkili parametre olduğu görülmektedir. Eğim açısı değişimine göre talaş oluşum ve kesme kuvvetlerinin etkileri değişmektedir. Üç farklı iş parçası malzemesi için  $15^\circ$  eğim açısında kesme kuvvetinin en düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın önemli amaçlarından olan, yüksek kesme derinliklerinde çalışabilen bir dönen yuvarlak uçlu kesici takım tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ansys sonlu elemanlar programı ile tasarlanıp imal edilen dönen yuvarlak uçlu takımın statik gerilme ve deformasyon analizleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetlerinden daha fazla kuvvet uygulanarak yapılan analizler sonucunda takım mukavemetinin öngörülen talaş kaldırma şartları için üstün performans sağladığı gözlemlenmiştir.

Talaş hacmi ile kesme kuvveti arasındaki ilişki incelenerek grafikleri çizilmiştir. Talaş hacmi ile kesme kuvvetinin benzer karakter gösterdiği gözlemlenmiştir. Talaş hacminin artması ile kesme kuvvetinin arttığı; fakat iş parçası malzemesine göre değişen bir

karakteristik gösterdiği görülmüştür. Bunun malzemelerin özgül kesme kuvvetlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üç farklı iş parçası için talaşın kırılması incelenmiştir. Talaş kırılması dönen yuvarlak uçlu takım ile istenilen, kabul edilebilir talaş verecek şekilde kırılmaktadır. Üç farklı malzeme için elde edilen talaşlar benzerdir.

Sonuç olarak geliştirilen kendinden dönen yuvarlak uçlu takımın literatürde görülen benzer takımlara göre daha yüksek performans gösterip, daha fazla kesme derinlikleri uygulanarak talaş kaldırma işlemleri için uygun olduğu görülmüş, ayrıca geliştirilen takım ile 1040 imalat çeliği, 1.2738 plastik kalıp çeliği ve 1.2343 sıcak iş takım çeliği malzemelerinin talaşlı işlenmesinde kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Armarego, E.J.A. Karri, V. ve Smith, A.J.R., (1994). "Fundamental Studies Of Driven and Self-Propolled Rotary Tool Cutting Processes-I. Theoretical Investigation", Int. J. Mach. Tools Manufact, 34: 785-801.
- [2] Shaw, M.C. Smith, P.A. ve Cook, N.H., (1952). "The Rotary Cutting Tool", Trans. ASME, 74: 1065-1076.
- [3] Dessoly, V., (2004). Modeling and Verification Of Cutting Tool Temperatures In Rotary Tool Turning Of Hardened Steel, Master Of Science, Georgia Institute Of Technology, Atlanta.
- [4] Hosokawa, A. Ueda, T. Onishi, R. Tanaka, R. ve Furumoto, T., (2010). "Turning of Difficult-to-Machine Materials with Actively Driven Rotary Tool", CIRP Annals - Manufacturing Technology, 59: 89-92.
- [5] Shaw, M.C. Smith, P.A. ve Cook, N.H., (1972). "The Rotary Cutting Tool", Trans. American. Society. Mechanical Engineerings, 74: 1065-1076.
- [6] Iyer, H.R. Koenigsberger, F., (1968) "Experiments with Self-Propelled Rotary Cutting Tools", Int. Mach. Tool Des. Res, 2: 945.
- [7] Bruno, A., Chiara, R., (1979). "A Rotating Tool For Turning and Cutting", The International Colloquium on the Cutting of Metals, Saint Etienne, France.
- [8] Ping C., Tetsutaro H., (1991). "Characteristics of Self-Propelled Rotary Tools in Machining High-Performance Materials", Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 57: 1792-17966.
- [9] Chen, P. ve Hoshi, T., (1992). "High-Performance Machining of SiC Whisker-Reinforced Aluminium Composite by Self-Propelled Rotary Tools", CIRP Annals - Manufacturing Technology, 41: 59-62.
- [10] Armarego, E. Smith, A. ve Karri, V., (1991). "Mechanics of Cutting Model for Simulated Oblique Rotary Tool Cutting Processes", Journal of materials processing technology, 28: 3-14.
- [11] Julean, D. Ispas, V. Bal, N., "Machining With Rotary Cutting Tools-Experimental Research", International Conference Power Transmission.

- [12] Chang, X. W. Y. M., Chen, W., Pang, X., ve Zhong, G., (1995). "Selection of Cutting Regime for Self-propelled Rotary Cutting Tools.", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 209: 63-66.
- [13] Armarego, E.J.A. Karri, V. ve Smith, A.J.R., (1994). "Fundamental Studies Of Driven and Self-Propolled Rotary Tool Cutting Processes-I. Theoretical Investigation", *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 34: 785-801.
- [14] Armarego, E.J.A. Karri, V. ve Smith, A.J.R., (1994). "Fundamental Studies Of Driven and Self-Propolled Rotary Tool Cutting Processes-II. Experimental Investigation", *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 34: 803-815.
- [15] Armarego, E.J.A. Karri, V. ve Smith, A.J.R., (1993). "Computer-Aided Predictive Models for Fundamental Rotary Tool Cutting Processes", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 42: 49-54.
- [16] Armarego, E.J.A. ve Katta, R.K., (1997). "Predictive Cutting Model for Forces and Power in Self-Propelled Rotary Tool Turning Operations", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46: 19-24.
- [17] Joshi, S.S. Ramakrishnan, N. Nagarwalla, H.E. ve Ramakrishnan, P., (1999). "Wear of Rotary Carbide Tools in Machining of Al SiCp Composites", *Wear*, 230: 124-132.
- [18] Wang, Z.M. Ezugwu, E.O. ve Gupta, A., (1998). "Evaluation of a Self-Propelled Rotary Tool in the Machining of Aerospace Materials", *Tribology Transactions*, 41: 289-295.
- [19] Motofumi K., Tetsuya M., Hikotaro I., Katsutoshi I., (2000). "Improvement of Cutting Efficiency by Rotary Tool, Technical Review" - *Mitsubishi Heavy Industries*, 37: 24-28.
- [20] Altan, E., Şahin, İ., (2001). "Dairesel Profilli Dönen Kesici Takımlarla Tornalama", *Metal Makina Dergisi*, 127: 94-102.
- [21] Dabade, U.A. Joshi, S.S. ve Ramakrishnan, N., (2003). "Analysis of Surface Roughness and Chip Cross-Sectional Area while Machining with Self-propelled Round Inserts Milling Cutter", *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 305-312.
- [22] Lei, S.T. ve Liu, W.J., (2002). "High-Speed Machining of Titanium Alloys Using the Driven Rotary Tool", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 653-661.
- [23] Kishawy, H.A. ve Wilcox, J., (2003). "Tool Wear and Chip Formation During Hard Turning with Self-Propelled Rotary Tools", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 433-439.

- [24] Ezugwu, E.O. Olajire, K.A. ve Wang, Z.M., (2002). "Wear Evaluation of a Self-Propelled Rotary Tool when Machining Titanium Alloy IMI 318", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, 216: 891-897.
- [25] Ezugwu, E.O. Bonney, J. ve Yamane, Y., (2003). "An Overview of the Machinability of Aeroengine Alloys", Journal of Materials Processing Technology, 134: 233-253.
- [26] Kishawy, H.A. Becze, C.E. ve McIntosh, D.G., (2004). "Tool Performance and Attainable Surface Quality During the Machining of Aerospace Alloys Using Self-Propelled Rotary Tools", Journal of Materials Processing Technology, 152: 266-271.
- [27] Subbiah S., Melkote S.N., "White Layer Formation in Hardened Steel Turned with a Rotary Tool", Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME, 32: 359-366.
- [28] Dessoly, V. Melkote, S.N. ve Lescallier, C., (2004). "Modeling and Verification of Cutting Tool Temperatures in Rotary Tool Turning of Hardened Steel", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44: 1463-1470.
- [29] Patel, K.M. ve Joshi, S.S., (2006). "Mechanics of Machining of Face-Milling Operation Performed Using a Self-Propelled Round Insert Milling Cutter", Journal of Materials Processing Technology, 171: 68-76.
- [30] Li, L. ve Kishawy, H.A., (2006). "A Model for Cutting Forces Generated During Machining with Self-Propelled Rotary Tools", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46: 1388-1394.
- [31] Kishawy, H.A. Li, L. ve El-Wahab, A.I., (2006). "Prediction of Chip Flow Direction during Machining with Self-Propelled Rotary Tools", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46: 1680-1688.
- [32] Hao, W. Zhu, X. Li, X. ve Turyagyenda, G., (2006). "Prediction of Cutting Force for Self-Propelled Rotary Tool Using Artificial Neural Networks", Journal of Materials Processing Technology, 180: 23-29.
- [33] Ezugwu E.O., (2007). "Improvements in the Machining of Aero-Engine Alloys Using Self-Propelled Rotary Tooling Technique", Journal of Materials Processing Technology, 185: 60-71.
- [34] Hao, W.S. Zhu, X.S. Tian, B.J. ve Chi, M.R., (2007). "Autoregressive Spectrum Analysis of Vibration and Condition Monitoring of Self-Propelled Rotary Tool", Key Engineering Materials, 329: 743-748.
- [35] Sasahara, H. Kato, A. Nakajima, H. Yamamoto, H. Muraki, T. ve Tsutsumi, M., (2008). "High-Speed Rotary Cutting of Difficult-to-Cut Materials on Multitasking Lathe", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48: 841-850.

- [36] Harun, S. Shibasaka, T. ve Moriwaki, T., (2008). "Cutting Mechanics of Turning with Actively Driven Rotary Tool", *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 2: 579-586.
- [37] Harun, S., Shibasaka, T., & Moriwaki, T. (2009). "Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool. ", In *Key Engineering Materials*, 389: 138-143.
- [38] Hosokawa, A., Ueda, T., Onishi, R., Tanaka, R., & Furumoto, T. (2010). "Turning of Difficult-to-Machine Materials with Actively Driven Rotary Tool. ", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59: 89-92.
- [39] Yamamoto, H., Satake, K., Sasahara, H., Narita, T., Tsutsumi, M., & Muraki, T. (2010). "Thermal Behavior and Tool Failures on Rotary Cutting of Difficult-to-Cut Materials Utilizing Multi Tasking Lathe. ", In *Key Engineering Materials*, 447: 806-810.
- [40] Kishawy, H.A. Pang, L. ve Balazinski, M., (2011). "Modeling of Tool Wear During Hard Turning with Self-Propelled Rotary Tools", *International Journal of Mechanical Sciences*, 53: 1015-1021.
- [41] El-Mounayri, H., Latif Razak, A., Kessler M., (2011). "Investigating Turning of Hard-to-Cut Material Using Self-Propelled Rotary Tool", *ASME International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC 2011*.
- [42] Kiyak, M. ve Altan, E., (2012). "Effects of Process Parameters on Surface Quality in Turning of Mild Steel with Rotary Cutting Tool", *Advanced Materials Research*, 445: 137-142.
- [43] Kato, H. Shikimura, T. Morimoto, Y. Shintani, K. Inoue, T. ve Nakagaki, K., (2012). "A Study on Driven-Type Rotary Cutting for Finish Turning of Carburized Hardened Steel", *Key Engineering Materials*, 523-524: 250-255.
- [44] Kossakowska, J. ve Jemielniak, K., (2012). "Application of Self-Propelled Rotary Tools for Turning of Difficult-to-Machine Materials", *Procedia CIRP*, 1: 425-430.
- [45] Olgun, U. ve Budak, E., (2013). "Machining of Difficult-to-Cut-Alloys Using Rotary Turning Tools", *Procedia CIRP*, 8: 81-87.
- [46] Kaulfersch, F. ve Roeder, M., (2013). "Cutting of Nickel-Based Superalloys with Rotating Indexable Inserts", *Advanced Materials Research*, 769: 116-123.
- [47] Kiyak, M. Emiroglu, U. ve Altan, E., (2014) "Dönen Takma Uçlu Kesici Takımlarla Tornalamada Takım Aşınması", 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 23-25 Ekim 2014, Bursa.
- [48] Akkurt, M., (2004). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgaahları*, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- [49] Şahin, Y., (2000). *Talaş Kaldırma Prensipleri 1*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

- [50] Groover, M.P., (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems, Fourth Edition, Thomson Digital, United States Of America
- [51] Parker, G., (2011) Self-Propelled Rotary Tool For Turning Difficult-To-Cut Materials, Master Science, University of Ontario Institute of Technology, Canada.
- [52] Çakır, M.C., (2010). Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, İkinci Baskı, Dora Yayın Dağıtım Ltd.Şti, Bursa.
- [53] Wuyi, C. Xing, C. Guojin, Z. Zuduan G., (1991). "High Speed Machining of Hardened Steel Using CBN Tipped Rotary Cutting Tools", Transformation of Science and Technology into Productive Power, Proceedings of the 11th International Conference on Production Research 23-27.
- [54] Ezugwu, E. O., (2005). "Key improvements in the Machining of Difficult-to-Cut Aerospace Superalloys.", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45: 1353-1367.
- [55] <http://www.boehlerit-drehen.epaperplus.at/#/160>, 1 Haziran 2015
- [56] <http://www.pramet.com/machining> of new railway wheels, 1 Haziran 2015

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Uğur EMİROĞLU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :09.04.1988-KASTAMONU  
**Yabancı Dili** :İNGİLİZCE  
**E-posta** :emiroglu@yildiz.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan                | Okul/Üniversite            | Mezuniyet Yılı |
|-----------|---------------------|----------------------------|----------------|
| Y. Lisans | Makine Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi | -              |
| Lisans    | Makine Mühendisliği | Hitit Üniversitesi         | 2011           |
| Lise      | Fen Bilimleri       | Kastamonu Kuzeykent Lisesi | 2006           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl  | Firma/Kurum                | Görevi              |
|------|----------------------------|---------------------|
| 2013 | Yıldız Teknik Üniversitesi | Araştırma Görevlisi |
| 2012 | Ankara Üniversitesi        | Araştırma Görevlisi |
| 2011 | Siirt Üniversitesi         | Araştırma Görevlisi |

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

1. Kiyak, M. Emiroglu, U. ve Altan, E., (2014) "Döner Takma Uçlu Kesici Takımlarla Tornalamada Takım Aşınması", 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 23-25 Ekim 2014, Bursa.

### **Proje**

1.Yüksek Talaş Kaldırma Performansı Sağlayan Döner Yuvarlak Uçlu Tornalama Takımının Geliştirilmesi 113M168 No'lu Tübitak Projesi (Bursiyer)