

**ANALİTİK BİR YAKLAŞIMLA FORM - TORNALAMA UÇ  
PROFİLLERİNİN TASARIMI; TALAŞ FORMU GEOMETRİSİNİN TAKIM  
ÖMRÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**OSMAN MURAT BİRCAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2014**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Osman EROĞUL  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ  
Anabilim Dalı Başkanı

Osman Murat BİRCAN tarafından hazırlanan ANALİTİK BİR YAKLAŞIMLA  
FORM - TORNALAMA UÇ PROFİLLERİNİN TASARIMI: TALAŞ FORMU  
GEOMETRİSİNİN TAKIM ÖMRÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu  
tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER  
Tez Danışmanı

---

Yrd. Doç. Dr. Yiğit KARPAT  
Tez Eş - Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Nuri DURLU

Üye : Doç. Dr. Erdem ACAR

Üye : Doç. Dr. M. Fatih DEMİRCİ

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Osman Murat BİRCAN

<b>Üniversitesi</b>	<b>: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi</b>
<b>Enstitüsü</b>	<b>: Fen Bilimleri</b>
<b>Anabilim Dalı</b>	<b>: Makina Mühendisliği</b>
<b>Tez Danışmanı</b>	<b>: Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER</b>
<b>Tez Eş-Danışmanı</b>	<b>: Yrd. Doç. Dr. Yiğit KARPAT</b>
<b>Tez Türü ve Tarihi</b>	<b>: Yüksek Lisans – Temmuz 2014</b>

**Osman Murat BİRCAN**

**ANALİTİK BİR YAKLAŞIMLA FORM - TORNALAMA UÇ  
PROFİLLERİNİN TASARIMI: TALAŞ FORMU GEOMETRİSİNİN TAKIM  
ÖMRÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**ÖZET**

Form-Tornalama operasyonu ile işlenmesi zor girift geometriler yüksek hassasiyette, hızlı ve kaliteli yüzey pürüzlülük değerlerinde imal edilebilmektedir. Kesici uç geometrisini oluşturan; talaş açısı, aksenal talaş açısı, kater açısı gibi geometrik parametreler sebebiyle takım üzerindeki profil iş parçasına aynen yansımamaktadır. İş parçası üzerinde yüksek hassasiyette ve doğru geometriler elde edebilmek için uç profili dizaynında bir miktar düzeltme gerekmektedir.

Bilyalı rulmanların seri üretiminde, bileziklerin kapak yuva geometrisi, profil taşlanmış torna uçları ile işlenmektedir. Her rulman tipi farklı kapak yuva tasarımına sahip olduğundan farklı profillerde yüzlerce kapak yuva uç dizaynı gerekmektedir. Bu sebeple uçların profilinde yapılacak düzeltme miktarının deneysel olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Ancak, farklı profillere uygulanabilen parametrik bir formülasyon ile uçların kompanzasyonu yüksek hassasiyette ve hızlı olarak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, iş parçası üzerinde yüksek hassasiyette ve doğru geometriler elde edebilmek amacıyla uç profili tasarımında analitik yöntem geliştirilmiş ve bu analitik yöntemin değişkenleri belirlenerek parametrik formüller çıkarılmıştır. Bu sayede analitik yaklaşım, aynı tipteki tüm profil tasarımlarına uygulanabilir hale getirilmiştir. Form uçlar, geliştirilen parametrik formüle göre dizayn edilmiş ve profil taşlama operasyonu ile imal edilmiştir. Üretilen uçlar seri imalat şartlarında test edilerek formülasyonun doğrulaması yapılmıştır. Tasarım prensibi oluşturulduktan sonra, farklı talaş geometrilerinin uç ömrüne etkisini araştırmak amacıyla iki farklı talaş geometrisi tasarımı yapılmış ve üretilen uçlar aynı iş parçası üzerinde test edilerek ömür değerleri alınmıştır. Ayrıca takımlara gelen kuvvetler ölçülerek, ömür testi verileri ile birlikte karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kesici takım, Form tornalama, Dizayn metodu.

**University** : TOBB Economics and Technology University  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Mechanical Engineering  
**Supervisor** : Associate Professor Dr. Mehmet Ali GÜLER  
**Co - Supervisor** : Assistant Professor Dr. Yiğit KARPAT  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. – July 2014

**Osman Murat BİRCAN**

**AN ANALYTICAL APPROACH TO DESIGN FORM – TURNING INSERT  
PROFILES: INVESTIGATION OF RAKE FACE DESIGN ON TOOL LIFE**

**ABSTRACT**

Generating highly accurate profiles on the workpiece is an important issue when turning with form cutting tools. The geometric parameters of the cutting tools such as rake angle, axial rake angle and clearance angle directly influence the workpiece dimensions. In order to get accurate dimensions on the workpiece, a compensation is required on the cutting tool profile based on the relation between cutting edge profile and the tool geometry.

In the mass production of ball bearings, the shield groove of the rings is processed with profile ground turning cutters. Each bearing type has different groove dimensions, thus hundreds of different form cutting tool designs are required. Therefore, individual cutting tool designs cannot be defined experimentally; a formulation is required which will yield the exact dimensions of the form cutting tool.

In this study, a parametric formulation is developed in order to get accurate dimensions on the workpiece. Form tools were designed by considering the geometric parameters and cermet tools were fabricated by using profile grinding operations. The parametric formulation is verified with finished workpiece geometry measurements during mass production. After generating analytical approach, in order to investigate rake face geometry on tool life, two different rake face geometry were designed and life test were done on the same type of shield groove profile. In addition to life test, cutting force were measured.

**Keywords:** Design method, Cutting tool, Form turning of shield groove

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım boyunca bilgi ve yardımlarını daima hissettiğim değerli danıőmanlarım Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER ve Bilkent Üniversitesi'nden eş-danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Yiğit KARPAT' a, mühendis olarak çalıőtıđım ve eş-zamanlı olarak projemi yürüttüğüm Orta Doğu Rulman Sanayi'ne, çalıőmalarım süresince en büyük güç kaynağı olan aileme ve iő arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	3
3. FORM UÇ TASARIM PRENSİBİ .....	12
3.1 Kapak Yuva Form-Takımları.....	12
3.2 Form-Uçların İmalatı .....	14
3.2.1 Profil Taşlama Operasyonları .....	14
3.3 Kapak Yuvası Tornalama Operasyonu .....	18
3.4 Form-Uç Tasarım Prensibi.....	21
3.4.1 Birinci Aşama: Geleneksel Form-Uç Tasarımı.....	23
3.4.2 İkinci Aşama: Talaş Açısının Hesaplanması ( $\alpha$ ).....	24
3.4.3 Üçüncü Aşama: Eksenel Talaş Açısının Hesaplanması ( $\gamma$ ) .....	25
3.4.4 Dördüncü Aşama: Profil Döndürme Açısının Hesaplanması ( $\theta$ ).....	25
3.5 Yeni Tasarım Prensibinin Test Edilmesi .....	28
3.6 Tasarım Kısıtları .....	29

4. TALAŞ FORMU GEOMETRİSİNİN UÇ ÖMRÜNE ETKİSİ .....	30
4.1 Talaş Formu Tasarımı .....	30
4.2 Form-Uçların Üretimi .....	32
4.3 Ömür Testleri .....	33
4.4 Kesme Kuvveti Ölçümü.....	37
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....	48
6. İLERİYE YÖNELİK YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR .....	50
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	54



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Tasarım Parametreleri.....	31
Çizelge 4.2. Talaş açısı değerleri.....	31
Çizelge 4.3. 100Cr6 (DIN) kompozisyonu.....	33
Çizelge 4.4. Kapak yuva operasyonu işleme parametreleri.....	35
Çizelge 4.5. Ömür testi sonuçları.....	36
Çizelge 4.6. Deney tasarımı.....	42
Çizelge 4.7. Maksimum kesme kuvvetleri ( $F_c$ , ve $F_t+F_f$ ).....	44
Çizelge 4.8. Kesme Kuvveti ( $F_c$ ) için ANOVA tablosu.....	45
Çizelge 4.9. Efektif talaş açısı değerleri.....	47

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Prizmatik form-uç çeşitleri .....	3
Şekil 2.2. Dairesel form-uç çeşitleri.....	4
Şekil 2.3. Dikey kesme modeli .....	5
Şekil 2.4. Dik kesme modeli, kesme kuvveti diyagramı.....	5
Şekil 2.5. Takıma etkiyen ölçülebilir kuvvetler.....	6
Şekil 2.6. Merchant'ın kuvvet çemberi.....	7
Şekil 2.7. Eğik kesme modeli.....	8
Şekil 2.8. Özel talaş kırıcı düzeneği.....	9
Şekil 3.1. Kapak yuva form – ucu.....	12
Şekil 3.2. Form-Uç üretim aşamaları.....	14
Şekil 3.3. Profil taşlama operasyonu.....	15
Şekil 3.4. Talaş formunu oluşturan açıların tanımlanması ( $\alpha$ , $\gamma$ ).....	16
Şekil 3.5. $\alpha$ , $\gamma$ açılarını oluşturan iki parametre ( $\Omega$ , $\sigma$ ).....	17
Şekil 3.6. $\alpha$ , $\gamma$ açılarını oluşturan üçüncü parametre, $\lambda$ açısı.....	18
Şekil 3.7. Rulman komponentleri ve kapak yuva geometrisi.....	19
Şekil 3.8. Kapak yuvası operasyon parametreleri.....	20
Şekil 3.9. Kapak yuva operasyonu, kater parametreleri.....	21
Şekil 3.10. Form-Tornalama öncesi, b) Form-Tornalama sonrası.....	22
Şekil 3.11. İki boyuta indirgenmiş form-uç ve bilezik.....	23
Şekil 3.12. Aynı profil üzerinde değişken eksen yükseklikleri.....	26
Şekil 3.13. Çalışma koşullarındaki model (yan profilden).....	27
Şekil 3.14. Form_tornalanmış dış bilezik kapak yuva profili.....	28
Şekil 4.1. Farklı talaş formuna sahip uçların 3-D modeli.....	30
Şekil 4.2. A ve B uç profillerinin karşılaştırılması.....	32
Şekil 4.3. Talaş formu aparat açıları ve modeli (A ucu için).....	32
Şekil 4.4. Bilenmiş uçlar.....	33
Şekil 4.5. 6203 rulman tipi için imalat akış şeması.....	34
Şekil 4.6. 100Cr6 Küreselleştirme sonrası iç yapı (1000X).....	35
Şekil 4.7. Dinamometre ve bağlama aparatı.....	37
Şekil 4.8. Form-Tornalama (Dalma) ve çap tornalama operasyonları farkı.....	38
Şekil 4.9. Kesici uca etki eden kuvvetlerin dağılımı.....	39
Şekil 4.10. Dinamometrenin monte edildiği tezgah.....	40
Şekil 4.11. Kuvvet ölçüm düzeneği.....	41
Şekil 4.12. Uç konumuna göre kuvvet grafiğinin dağılımı.....	43
Şekil 4.13. Kesme Kuvveti ( $F_c$ ) için çoklu değişken grafiği.....	45
Şekil 4.14. Besleme ( $F_f$ ) + İtme Kuvveti ( $F_t$ ) için çoklu değişken grafiği.....	46
Şekil 4.15. Efektif talaş açıları ( $\omega$ ) (pozitif ve negatif).....	47

## KISALTMALAR

### Kısaltmalar Açıklama

<b>F</b>	Sürtünme Kuvveti
<b>F<sub>c</sub></b>	Kesme Kuvveti
<b>F<sub>f</sub></b>	Besleme Kuvveti
<b>F<sub>n</sub></b>	Kayma Normal Kuvveti
<b>F<sub>s</sub></b>	Kayma Kuvveti
<b>F<sub>t</sub></b>	İtme Kuvveti
<b>N</b>	Sürtünme Normal Kuvveti
<b>L<sub>1t,2t</sub></b>	Uç Profil Ölçüleri

## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\alpha$	Talaş Açısı
$\beta$	Kater Eğim Açısı
$\gamma$	Eksenel Talaş Açısı
$\delta$	Kater Pozisyonlama Açısı
$\theta$	Profil Döndürme Açısı
$\lambda$	Talaş Formu Profil Açısı
$\mu$	Sürtünme Katsayısı
$\sigma$	Talaş Formu Aparatı Eğim Açısı
$\varphi$	Uç Kama Açısı
$\omega$	Efektif Talaş Açısı
$\Omega$	Talaş Formu Aparatı Pozisyonlama Açısı
$\phi$	Kayma Düzlemi Açısı
$\emptyset$	Çap Ölçüsü

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Form-tornalama işleminde, özel profilli takımlar kullanılarak kompleks geometriler tek bir kızak hareketi ile işlenebilmektedir. Form takımlar, işlenecek parça geometrisine özel olarak üretilen takımlardır. Takımın kesme kenar profili, parça üzerinde işlenecek geometri ile eşleşmektedir. Yani iş parçası ile kesici takım arasında anahtar-kilit ilişkisi oluşmaktadır. Sonuç olarak tek bir kızak hareketi ile form-takım iş parçasına doğru yaklaştırılmakta ve iş parçası üzerinde istenilen geometriler elde edilebilmektedir.

Talaşlı imalat prosesinde genellikle, tek nokta kullan - at kesici takımlar ile tornalama yapılmaktadır. Kullan - at takımlarda işleme süresi ile iş parçası hassasiyeti arasında zıt bir ilişki vardır. Form-takımlar işleme süresini kısaltırken aynı zamanda mükemmel boyutsal kararlılık sağlamaktadır [1]. Bunlara ek olarak, tek nokta kesicilerde oluşan ilerleme kaynaklı yüzey pürüzlülüğü olmaksızın mükemmel yüzey kalitesi sağlar, kesici uçlar profil boyunca kesme yaptığından daha uzun takım ömrü vermektedir. Tek kızak hareketi ile istenilen kompleks şekillerin iş parçası üzerinde elde edilmesi ile çok hızlı işleme sürelerine erişilebilmektedir.

Form-tornalama daha çok seri üretimlerde, çevrim süresinin çok kısa olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada üretilen rulman bileziklerinin çevrim süresi yaklaşık 5 sn civarındadır. Üretim hızının 5 sn/parça olduğu bir tezgahta ortaya çıkan uzun talaşların tahliyesi çok büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple form-uçların talaş formu tasarımı, talaşı istenilen yönde (bilezikten dışarı doğru) sevk edecek şekilde özelleşmiş olmalıdır. Talaş formu geometrisi iş parçasında oluşturulan profili etkilediğinden, özelleşen talaş formu geometrisi uç profillerinin doğru olarak tasarlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışma, form-takımların tasarım aşamasında yapılacak olan hataları mümkün olduğu kadar düşürmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca parametrik tasarım prensipleri uygulanarak, benzer geometrideki bütün profillerin tasarımı yapılabilecektir.

Profil tasarımı prensibi belirlendikten sonra, farklı talaş formu tasarımlarının uç ömrüne etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda 2 farklı talaş formu tasarımı yapılmış ve

Özel aparatlar imal edilerek uçlar retilmiŖtir. Seri imalatta uçlar ömür testlerine tabi tutularak ilgili veriler kaydedilmiŖtir ve ömür testlerine ek olarak uç üzerine gelen kesme kuvvetleri de ölçülerek 2 farklı talaŖ formunun kuvvetlere olan etkisine bakılmıŖtır. Seri imalattan alınan ömür değerleri ile kesme kuvvetleri arasındaki iliŖki incelenmiŖtir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Form-Tornalama işlemi, takım hareketi ve kesme kenar profili bakımından geleneksel tornalama işlemlerinden farklı bir proses gibi görünse de nihayetinde bir kesme işlemidir. Kullanılan kesici takımlar ve takım hareketi bakımından geleneksel tornalama işleminden ayrılmaktadır. İş parçası üzerinde, tek yönde doğrusal bir takım hareketi ile kompleks geometriler oluşturabilmek ancak özel profile sahip takımlar ile yapılabilmektedir. Bunun için, iş parçası üzerinde oluşturulmak istenen hedef profil ile takım profili arasında anahtar-kilit ilişkisi olması gereklidir. Form-Tornalama işleminde kullanılan takımlar prizmatik ve dairesel olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır.



Şekil 2.1. Prizmatik form-uç çeşitleri [2].

Form-takımlar, iş parçasına özel üretilen takımlar olduğundan farklı geometrik şekillere ve boyutlara sahip olabilmektedir. Şekil 2.1'de farklı geometrilerde prizmatik form-uçlar görülmektedir. Üçgen, kare veya diğer geometrilerdeki taslak uçlar alınarak işlenecek olan profil taşlama yöntemiyle uca aktarılmaktadır. Prizmatik uçlar çoğunlukla standart şekillerdeki katerlere bağlanarak kullanılabilir.

Şekil 2.2’de ise bir diğer form-uç çeşidi olan dairesel uçlar görülmektedir. Dairesel uçların takım tutucuları prizmatik uçlardan farklılık göstermektedir. Özel takım tutucu tasarımları gerektirmektedir.



Şekil 2.2. Dairesel form-uç çeşitleri [3].

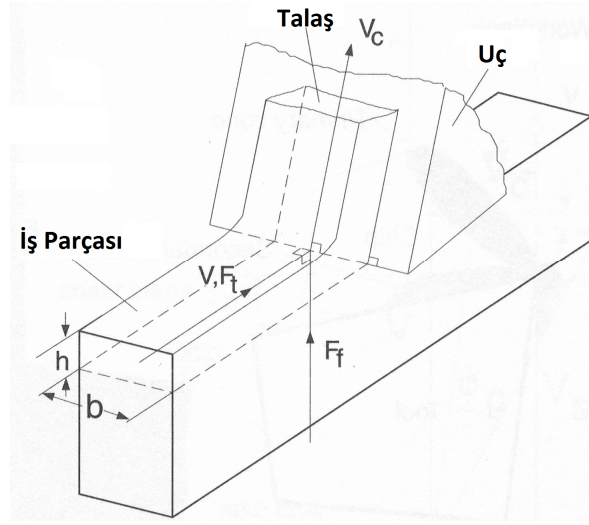
Prizmatik takımlar ile dairesel takımlar arasındaki en büyük fark; dairesel takımlar kullanıldıkça talaş açısı ve ön boşluk açıları değişmekte fakat prizmatik takımlarda bu açılar sabit kalmaktadır [4]. Bu sayede prizmatik takımlarda iş parçasında oluşturulan profilin ölçüsel kararlılığı daha yüksek olmasına rağmen maliyet konusunda dairesel takımların gerisinde kalmaktadır. Dairesel takımlar tekrar tekrar taşlanıp kullanıldığından tüketim miktarı prizmatik takımlara göre daha düşüktür.

Ortogonal kesme modeline göre çalışan dairesel takımların, uç profilinde yapılacak olan düzeltme miktarı basit trigonometrik denklemler ile hesaplanabilmektedir [5].

Form-Tornalama prosesi, kesme mekaniği açısından incelendiğinde, diğer bütün talaş kaldırılan operasyonlarda olduğu gibi, temelde kesme kenarı ile kesme hızı arasındaki açısal ilişkiden oluşan bir prosestir. Bu sebeple literatürde en çok kullanılan modellerden dik kesme ve eğik kesme modelleri, form-tornalama işleminde genel itibariyle geçerliliğini korumaktadır.

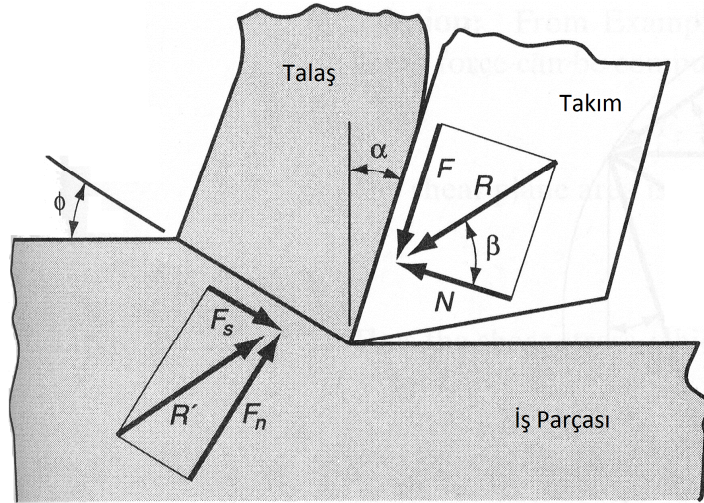
Şekil2.3’de dikey kesme modeli görülmektedir [6].





Şekil 2.3. Dikey kesme modeli [6].

Dikey kesme modelinde kesme kenarı, takım ile parça arasındaki izafi hız vektörüne dik olarak hareket etmektedir.

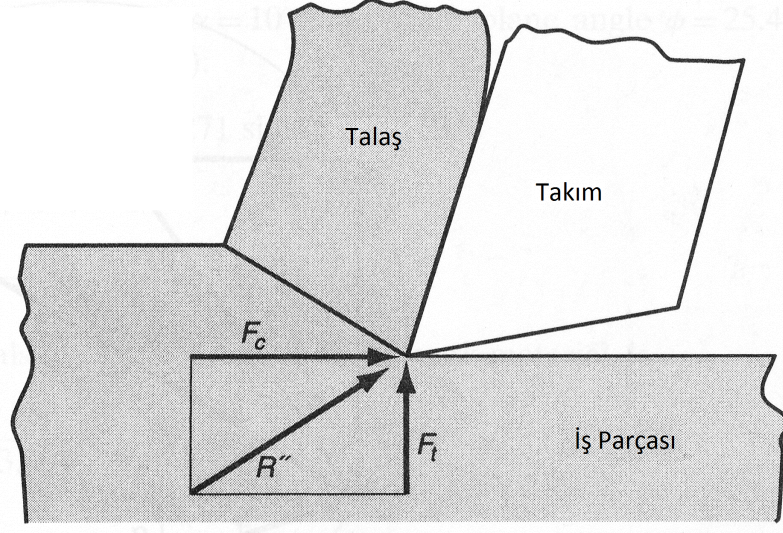


Şekil 2.4. Dik kesme modeli, kesme kuvveti diyagramı [7].

Şekil 2.4'de ortogonal (dik) kesme sırasında takım-talaş ve iş parçası-talaş arasındaki kuvvet etkileşimleri görülmektedir. Takım ile talaş arasında, talaş açısı boyunca, sürtünme kuvveti ( $F$ ) ve bu kuvvete dik olan sürtünme normal kuvveti ( $N$ ) etki etmektedir. Bu iki kuvvet yardımıyla takım talaş arasındaki sürtünme katsayısı aşağıdaki 2.1 denkleminde verilen formül ile hesaplanabilir [7].

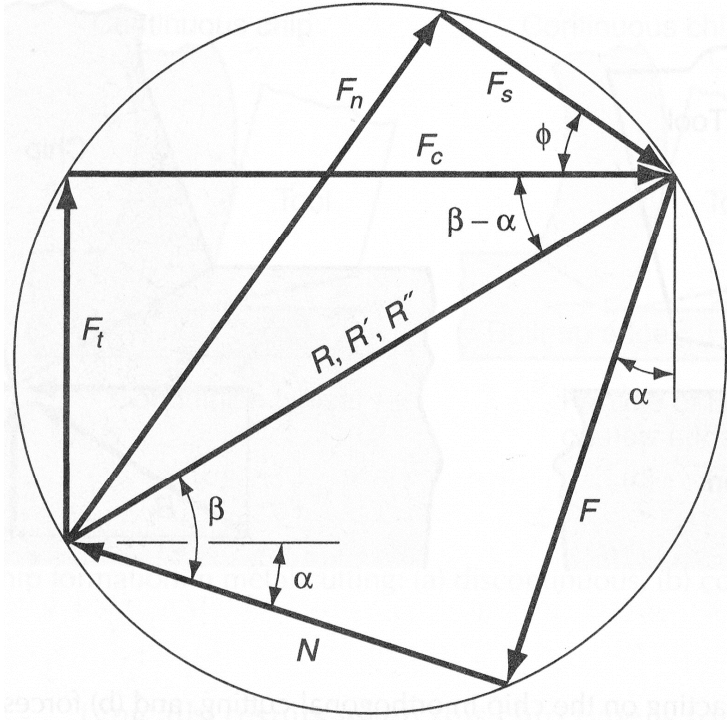
$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2.1)$$

İş parçasından talaş üzerine, kayma kuvveti ( $F_s$ ) ve bu kuvvete dik olan kayma normal kuvveti ( $F_n$ ) etki etmektedir.



Şekil 2.5. Takıma etkiyen ölçülebilir kuvvetler [7].

Ortogonal kesme teorisine göre takım üzerine etki eden ölçülebilir kuvvetler Şekil2.5'de görülebilir. Kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve İtme kuvveti ( $F_t$ ) ölçümü, tezgahın katerliğine monte edilen dinamometre yardımıyla yapılabilmektedir. Şekil 2.6'da kuvvetler arasındaki geometrik ilişkiyi açıklayan bir diyagram verilmiştir.



Şekil 2.6. Merchant'ın kuvvet çemberi [7].

Merchant'ın kuvvet çemberi yardımıyla  $F$ ,  $N$ ,  $F_n$ , ve  $F_s$  kuvvetleri,  $F_c$ ,  $F_t$ ,  $\phi$ ,  $\alpha$ 'nın bir fonksiyonu olarak türetilmektedir [8]. Türetilen formüller aşağıda 2.2 - 2.5 no'lu denklemlerde verilmiştir.

$$F = F_c \sin\alpha + F_t \cos\alpha \quad (2.2)$$

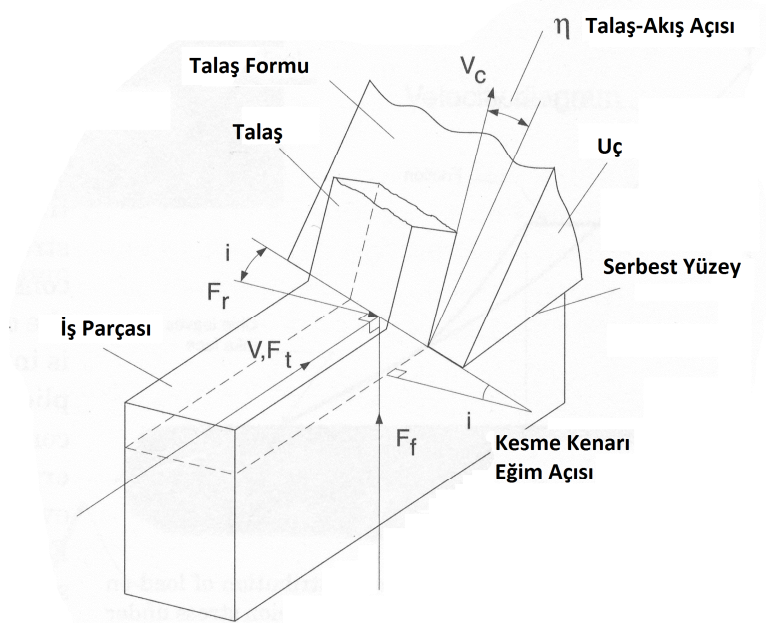
$$N = F_c \cos\alpha + F_t \sin\alpha \quad (2.3)$$

$$F_s = F_c \cos\phi + F_t \sin\phi \quad (2.4)$$

$$F_n = F_c \sin\phi + F_t \cos\phi \quad (2.5)$$

Form-tornalama sırasında elde edilen uzun talaşların aynı yere yönlendirilebilmesi ve uygun yolluklar yardımıyla ortamdan uzaklaştırılmaları, kapak yuva operasyonu için önemli bir proses gerekliliğidir. Bu sebeple talaş yönlenmesini kontrol etmek amacıyla daha çok eğik kesme modelleri tercih edilmektedir. Fang, farklı bir eğik kesme modeli geliştirerek, talaş akış hızını ve talaş yönünü teorik olarak hesaplamış ve deneysel olarak doğrulamasını yapmıştır [9]. Ayrıca başka bir araştırmasında, talaş formundaki boyutsal parametrelerin talaş kırma performansına etkilerini

incelemiştir [10]. Umer ve arkadaşları, eğik tornalama operasyonunda kesme hızı, sıcaklık parametrelerini optimize etmişler ve yapılan deneysel çalışmayı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak doğrulamasını yapmışlardır. Farklı kesme hızı, ilerleme hızı, talaş açısı ve eğim açısı değerleri kullanmışlardır. Ayrıca kesme parametrelerinin talaş akış açısına etkisini incelemişler ve eğim açısı arttıkça talaş akış açısının arttığını tespit etmişlerdir. En düşük kesme kuvveti ve sıcaklık değerinin yüksek talaş açısı ve eğim açısı değerlerinde elde edildiğini gözlemlemişlerdir [11]. Komanduri ve arkadaşları çok geniş bir yelpazede talaş açısı ve eğim açısına sahip uçlarla alüminyum malzeme üzerinde kesme simülasyonları yapmışlardır. Talaş açısı, efektif talaş açısı ve hız vektörü doğrultusundaki talaş açısı değerlerini hesaplayarak hangisinin eğik kesme modelinde daha etkili olduğunu araştırmışlardır. Yaptıkları değerlendirmeler göre eğik kesme modelinde kesme kuvvetleri açısından incelendiğinde en etkili parametrenin talaş açısı değeri olduğunu saptamışlardır [12].

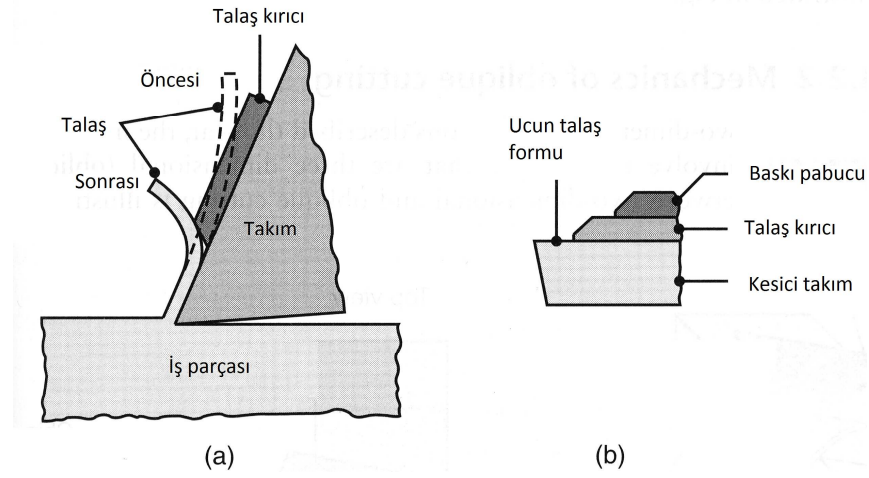


Şekil 2.7. Eğik kesme modeli [6].

Şekil 2.7’de eğik kesme modeli görülmektedir [6]. Dikey kesme modelinden tek farkı ucun kesme kenarına verilen eğim açısıdır. Bu sebeple çıkan talaşlar, belli bir açı yaparak talaş formu yüzeyinde akıp gitmektedir.

Rulman dış bileziklerinin kapak yuva operasyonunda uzun talaşların yönlendirilmesi gerektiğinden eğik kesme modeli tercih edilmiştir. Klasik tornalama operasyonundan farkı takımın bileziğe göre radyal yönde ilerlemesidir. Ayrıca kesme kenar profili Şekil 3.1’de görüldüğü gibi düz değil profilli bir yapıya (kapak yuva profili) sahiptir.

Talaşın kırılarak çıkmasının istendiği bazı form-takım çalışmaları da yapılmaktadır. Bunun için talaş formu üzerine baskı pabucu ile beraber özel bir tasarım ile talaşın kırılarak çıkması sağlanabilmektedir [13].



Şekil 2.8. Özel talaş kırıcı düzeneği [13].

Şekil2.8’da görüleceği üzere talaş önceki duruma göre daha fazla plastik deformasyona maruz bırakılacağından kırılması daha kolay olacaktır.

Yerli ve yabancı literatürde form-uç profil tasarımı ile ilgili çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Endüstrideki uygulamaların birçoğunda deneme yanılma yöntemiyle profil ölçüleri tespit edilebilmektedir. Bu sebeple akademik olarak üzerinde çok fazla çalışılmadığı görülmüştür. Ayrıca talaşın yönlendirilmesine ihtiyaç duyulmuyorsa dik kesme modeli kullanılarak basit düzeyde trigonometrik hesaplamalarla uç ölçüsü belirlenebilmektedir. Endüstride karşılaşılan örneklerin birçoğu tasarım açısından daha kolay olduğu için öncelikle dik kesme modelini tercih etmektedir.

Milutinovic, torna tezgahında kullanılacak form-takımlar için bir tasarım metodolojisi geliştirmiş, deneysel olarak doğrulamasını yapmış ve tasarım metodolojisinin matematik modelini oluşturmuştur [4].

Radzevich, frezeleme operasyonunda kullanılan form-takımların optimum tasarımı için matematiksel bir model geliştirmiştir [14].

Talaş açısı, ilerleme hızı ve kesme hızının kesme kuvvetine olan etkisinin incelendiği birçok çalışmaya literatürde rastlanmaktadır. Günay ve arkadaşları, pozitif ve negatif talaş açısı değerlerinde alınan kesme kuvveti ölçümlerinde, negatif talaş açılarında sahip uçların daha yüksek kesme kuvvetlerine ( $F_c$ ) maruz kaldığını göstermişlerdir [15], [16]. Ship-Peng Lo, farklı talaş açılarında sahip uçların sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmiş ve talaş açısı arttıkça kesme kuvvetinin azaldığı gözlemlemiştir [17]. Sağlam ve arkadaşları, talaş açısı ve yaklaşma açısı gibi uca ait geometrik parametrelerin kesme kuvvetine olan etkisi incelemiştir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin düştüğü fakat kesici takım sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvvetleri ve sıcaklığı beraber değerlendirerek 1040 çeliği için optimum talaş açısı değerini  $12^\circ$  bulmuşlardır [18]. Başka bir çalışmada ise talaş açısı ve yaklaşma açılarının kesme kuvveti ve kesme kenar sıcaklığına olan etkisini incelemiştir. Takım ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını, talaş açısının pozitif yönde arttığında kesme kuvvetlerinin düştüğünü gözlemlemiştir [19].

Lalwani ve arkadaşları, 50 HRC sertliğindeki MDN250 malzemesi üzerinde yaptıkları sert tornalama çalışmasında, kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmaları istatistiksel olarak değerlendirerek, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametreleri ve etki derecelerini hesaplamışlardır [20].

Nalbant ve arkadaşları, kesme hızı ve kesici takım geometrisinin kesme kuvvetine olan etkisini incelemiştir. Efektif talaş açısı negatif yönde arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı %66 artınca kesme kuvvetinde %14 azalma, kesme hızı %20 arttığında ise kesme kuvveti %10 oranında azalma göstermiştir [21].

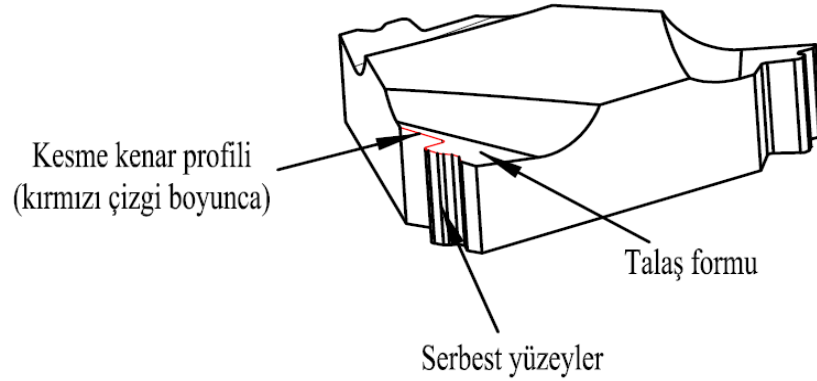
Yukarıdaki çalışmalara ek olarak, literatürde talaş açısının kesme kuvvetine olan etkisinin incelendiği bir çok çalışma mevcuttur. İşlenen malzemedan bağımsız olarak, talaş açısının pozitif yönde artması daha düşük kuvvetlerde kesme yapılmasına olanak sağlamaktadır [22,23].

Form- uç kullanılarak Armarego ve Herath tarafından yapılan bir çalışmada ise talaş akış açısının ve oluşabilecek kesme kuvvetlerinin önceden tespit edilebilmesi için bir model oluşturmuşlardır. Kullanılan uç üçgen olup “V” şeklindeki profile sahiptir [24]. Form-uç ile yapılan araştırmalar incelendiğinde genellikle “V” şeklindeki profillerin çalışıldığı görülmektedir.

### 3. FORM UÇ TASARIM PRENSİBİ

#### 3.1 Kapak Yuva Form-Takımları

Rulman bileziklerindeki kapak yuva formları, kapak yuva profilinin tersine sahip profilli kesici takımlar ile işlenebilmektedir. Kullanılan kesici takımlar, taslak ölçülerde temin edilen (TNGN 220408 & SNGN 120408 gibi...) uçların profil taşlanması ile üretilmektedir. Taslak haldeki boyutları TNGN 220408 olan takımın, özel taşlama yöntemleriyle 3 kesme kenarlı form-takıma dönüştürülmüş hali Şekil 3.1’de görülmektedir. Rulman bileziklerinin kapak yuvası profilinin tornalanmasında kullanılan tipik bir form-takım geometrisidir.



Şekil 3.1. Kapak yuva form – ucu.

Şekil 3.1’de tarif edilen kesme kenar profili, serbest yüzey ile talaşın aktığı yüzeyin (talaş formu) kesişimiyle oluşmaktadır. İşleme sırasında oluşan uzun talaşların, bilezikten dışarı doğru yönlendirilmesi istenmekte ve basınçlı hava yardımıyla talaş kanallarına aktararak çalışma ortamından uzaklaştırılmaktadır. Bu sebeple, talaşın doğru yönlendirilebilmesi ancak üç boyutlu bir talaş formu geometrisiyle sağlanabilmektedir.

Yapılan çalışmada sermet kesici takım malzemesi tercih edilmiştir. Sermetler, karbürlerle kıyasla daha fazla aşınma dayanımına sahip iken tokluk değeri düşüktür ve endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır [8].

Seramiklerin;



- Sertlik,
- Oksitlenmeye karşı dayanıklılık,
- Isıya dayanıklılık,

gibi özellikleri ile metallerin;

- Tokluk,
- Darbeye dayanıklılık

özelliklerinin birleştirildiği ideal bir kesici takım malzemesi olan sermetler geliştirilmiştir.

Günümüzdeki araştırmalar, sermetin malzemelerin aşınmaya karşı dayanıklılığında bir şey kaybettirmeden tokluğunu artırmaya odaklanmıştır. Sert metallerin bileşimi daha çok WC malzemedan oluşurken, sermetlerde bunun yerini Ti (C,N) almıştır.

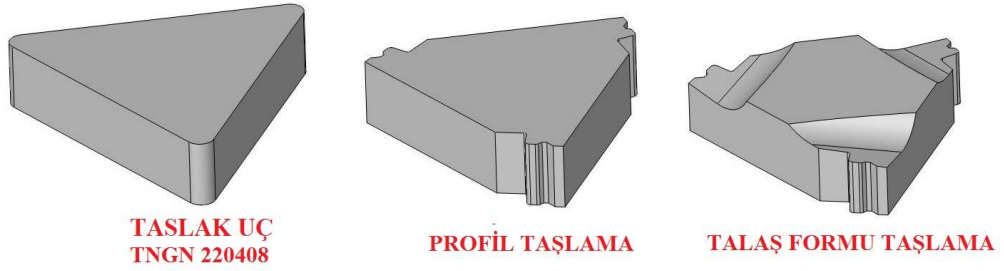
Karakteristik olarak,

- Daha düşük sürtünme katsayısı ve düşük yapışma eğilimi sayesinde taşlama kalitesinde yüzey elde etmek mümkün
- Daha düşük ısı iletkenlik ile kuru işlemeye imkan tanımaktadır. Bu özelliği sebebiyle oldukça çevreci bir malzemedir.
- Yüksek ısı dayanım sayesinde yüksek hızlarda kesme ile işleme süresini kısaltmak mümkün
- Kaplama olmadan yüksek performans verebildiğinden kesme kenarı honlaması yapılmadan daha keskin kenar ile çapaksız kesebilmek mümkün
- Uzun takım ömrü ile düşük takım maliyeti
- Serbest yüzey aşınmasına karşı daha dirençli; iş parçasında sürdürülebilir boyutsal kararlılık ve yüksek tekrarlanabilirlik sağlar.

Yukarıda belirtilen özellikleri sebebiyle sermetler, seri üretimde form-tornalamada operasyonu için en çok tercih edilen kesici takım malzemesidir.

## 3.2 Form-Uçların İmalatı

Kapak yuva form uçlarının üretilmesi 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk iki aşama Şekil 3.2’de görüleceği üzere profil taşlama ve talaş formu taşlama operasyonlarıdır. Son operasyon ise kesme kenarında noktasal kırılmaları önlemek amacıyla uygulanan honlama operasyonudur.



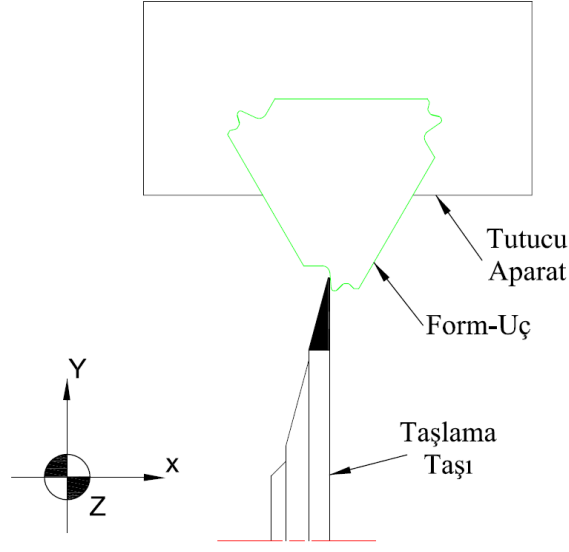
Şekil 3.2. Form-Uç üretim aşamaları.

### 3.2.1 Profil Taşlama Operasyonları

Taşlama yapılan iş parçası üzerinde kompleks geometriler elde edilmesini sağlayan CNC kabiliyetine sahip operasyondur. Taşlama elmas aşındırıcı içeren taşlar ile yapılmaktadır.

#### 3.2.1.1 Kapak Yuva Profili Taşlama Operasyonu

Bu operasyonda, rulman bileziğindeki işlenecek kapak yuva geometrisinin tersi, kesici takıma profil taşlama operasyonu yardımıyla aktarılmaktadır. Taslak halde temin edilen uçlar taşlama aparatına sabitlenir. Profil taşlama operasyonu prensibi Şekil 3.3’e bakılarak anlaşılabilir.



Şekil 3.3. Profil taşlama operasyonu.

Taşlama taşı elektrik motoru tahrikiyle eksenini etrafında dönerken, X ve Y eksenlerinde CNC hareket kabiliyetine sahiptir. Ayrıca Z - ekseninde aşağı ve yukarı yönde tekrarlı salınım hareketi yapmaktadır. Bu sayede aynı anda üst üste dizilmiş birden fazla takımı taşıyabilmektedir. Uçlar bu şekilde çoklu bileme yapıldığından ön boşluk açısı verilememektedir. Ön boşluk açısı, kullanılan kater üzerinde ucun oturduğu yüzeye yeterli miktarda açı verilerek sağlanmaktadır ve  $\beta$  sembolü ile gösterilmektedir. Bu sayede iş parçası iç çapında tornalama yapılıyorken, alt sürtme probleminin önüne geçilmektedir.

### 3.2.1.2 Talaş Açısı Taşlama Operasyonu

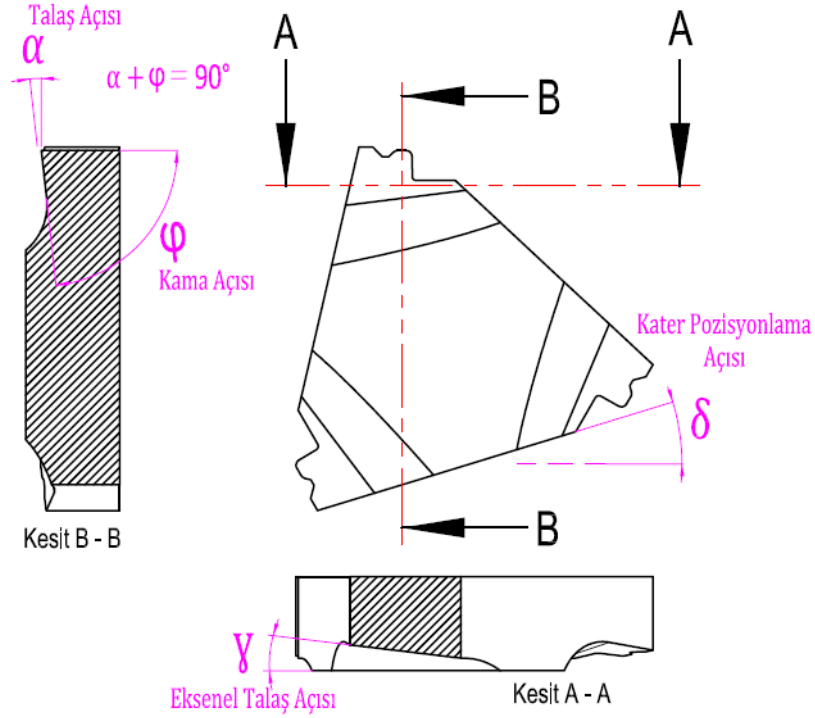
Her iki taşlama işlemi de aynı tezgahlarda yapılmaktadır fakat tek fark uçları konumlandırmak için kullanılan aparatlarda oluşmaktadır. Talaş açısı için kullanılan aparatlar, profil taşlama aparatlarından çok farklı tasarımlara sahiptirler.

Uçlar,  $\delta$  açısı verilerek çalışma koşullarında konumlandırıldıktan sonra talaş formları Şekil 3.4'de gibi kesitler alınarak incelendiğinde, karşımıza 2 adet açı çıkmaktadır.

Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ ) [4]: Şekil 3.4'de çalışma şartlarında konumlandırılmış uç üzerinde A-A kesiti alındığında elde edilen açı değeridir. Eksenel talaş açısı, talaşı bilezikten dışarı doğru yönlendirmeye yardımcı olan yani kontrollü talaş tahliyesine

imkan veren açı değeridir. Eksenel talaş açısının sıfırdan farklı olması ile kesme işlemi eğik kesme modeline benzemektedir. Eğik kesme modelinde, kesme kenarına verilen eğim açısı ile talaş kontrolünün sağlanabilmektedir [7].

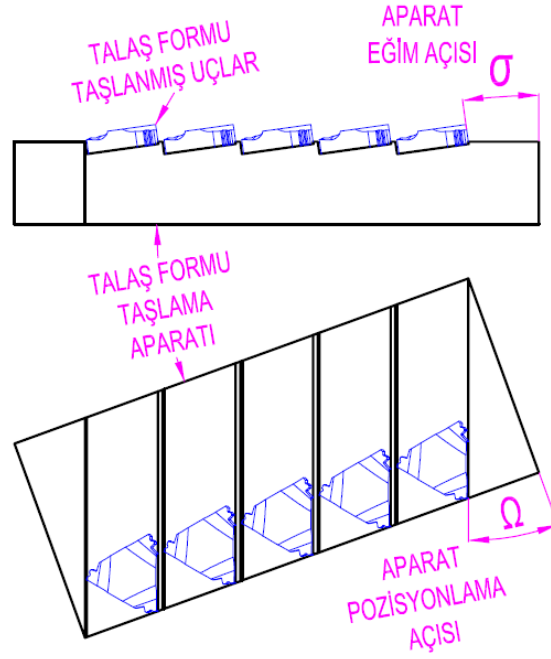
Talaş Açısı ( $\alpha$ ): Talaş kaldırılan tüm işlemlerde talaş açısı önemli bir operasyon parametresidir. Şekil 3.4’de B-B kesiti alındığında oluşan açı, talaş açısını değerini vermektedir. Bu açının gerçek değeri tespit edilmeden profil tasarımının yapılması imkansız hale gelmektedir, çünkü parçadaki oluşan iz düşüm profile direkt olarak etki eden bir parametredir. Çoklu olarak yapılan profil taşlama operasyonu gereği uçlara ön boşluk açısı verilemediğinden talaş açısı ( $\alpha$ ) ile kama açısı ( $\varphi$ ) birbirini tümleyen açılardır.



Şekil 3.4. Talaş formunu oluşturan açıların tanımlanması ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ).

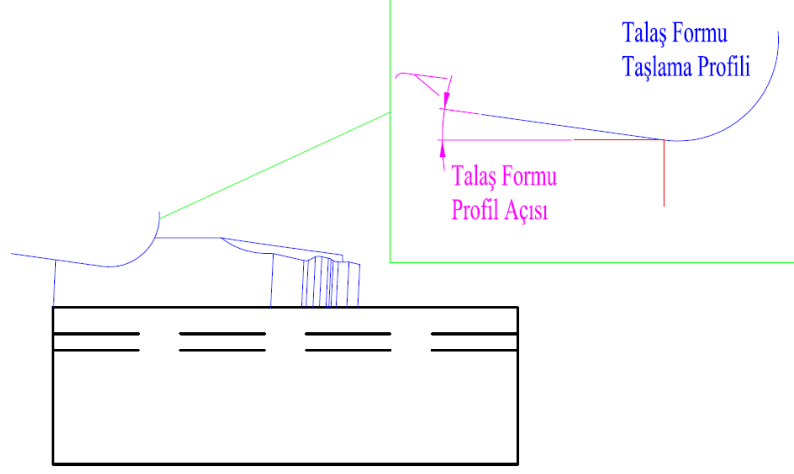
Talaş formu, tasarım açısından düşünüldüğünde 3 parametrenin etkileşimiyle oluşmaktadır. 2 parametre talaş açısı aparatından gelmektedir. Bunlar;

- Uç pozisyonlama açısı ( $\Omega$ )
- Eğim açısı ( $\sigma$ ) : eksenel talaş açısının oluşumundaki en etkili açı değeridir.



Şekil 3.5.  $\alpha$ ,  $\gamma$  açılarını oluşturan iki parametre ( $\Omega$ ,  $\sigma$ ).

- Üçüncü parametre ise talaş formu profilinde verilen açı ( $\lambda$ ) değeridir. Uçlar Şekil 3.5’de verilen talaş açısı aparatında  $\sigma$  ve  $\Omega$  açılarıyla pozisyonlandıktan sonra taşlama taşı, Şekil 3.6’de görülen talaş formu profilini takip etmektedir. Talaş formu profili bir eğimli doğru ile bir radyüsün teğetinden oluşmaktadır (Şekil 3.6).

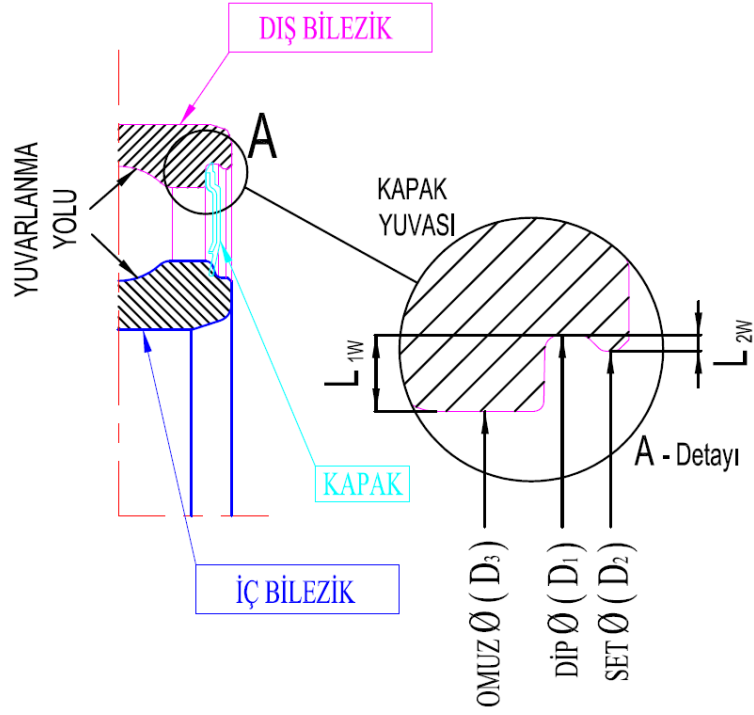


Şekil 3.6.  $\alpha$ ,  $\gamma$  açılarını oluşturan üçüncü parametre,  $\lambda$  açısı.

### 3.3 Kapak Yuvası Tornalama Operasyonu

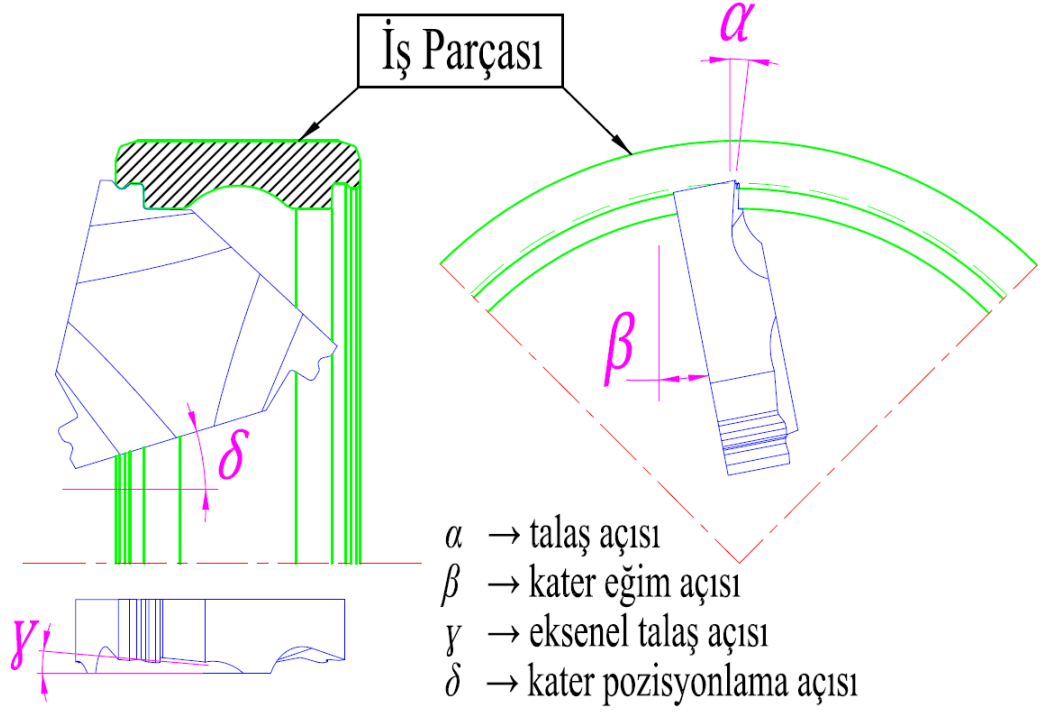
Operasyon tek milli torna tezgahlarında soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmaktadır. Bu tezgahlar CNC hareket kabiliyetine sahip değildir. Sadece eş zamanlı olarak tek eksenle hareket edebilmektedirler. Takım arabası aynı anda sadece tek bir düzlemde hareket edebilmektedir. Form - Uç, bileziğe göre radyal yönde hareket ederek dalma tornalama yapmakta ve iş parçası üzerinde kapak yuvası profilini oluşturmaktadır.

Her bir üretim hattı 5 veya 6 adet tek milli torna tezgahlarının yan yana dizilmesinden oluşmaktadır. Her tezgah iş parçası üzerinde 1 veya 2 operasyon gerçekleştirmektedir. Şekil 3.7’de verilen tipik bir bilezik için bu operasyonlar, dış çap, iç çap, yuvarlanma yolu, yanaklar, köşe yuvarlatmaları ve kapak yuvası tornalama operasyonlarıdır.



Şekil 3.7. Rulman komponentleri ve kapak yuva geometrisi.

Form - Uç tasarımı açısından bakıldığında, ölçüsel olarak en fazla sapmanın yaşandığı ölçüler bileziğin radyal yönde verilen omuz dip ve set çapı ölçüleridir. Çünkü bu ölçüler, Şekil 3.8'de verilen kater eğim açısı ( $\beta$ ), kater pozisyonlama açısı ( $\delta$ ), talaş açısı ( $\alpha$ ) ve eksenel talaş açısı ( $\gamma$ ) değişkenlerinden en fazla etkilenen ölçülerdir. Uç profil tasarımı yapılırken hem eksenel hem de radyal ölçülerde olabilecek sapmalar dikkate alınmıştır.

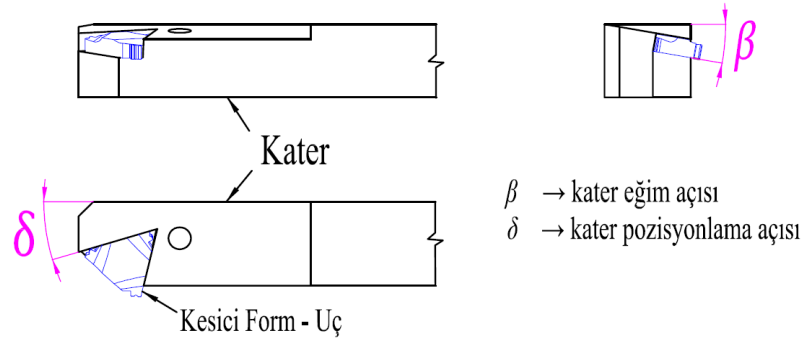


Şekil 3.8. Kapak yuvası operasyon parametreleri.

Form takımlar, Şekil 3.9’da tanımlanan kater pozisyonlama açısı ( $\delta$ ) ve kater eğim açısı ( $\beta$ ) ile konumlandırılmaktadır. Pozisyonlama açısı  $\delta$ , taslak halde temin edilen uçtan, profil taşlama sırasında kaldırılacak talaş miktarını azaltmaktadır.

Profil taşlama operasyonunda bahsedildiği gibi, çoklu bileme yapıldığından dolayı uçlara ön boşluk açısı vermek mümkün olmamaktadır. Bu sebeple, ön boşluk açısı Şekil 3.9’de verilen kater eğim açısı ( $\beta$ ) ile sağlanmaktadır. Aksi takdirde dış bilezik kapak yuva operasyonlarında, ucun altının sürtmesi gibi problemlerle karşılaşılacaktır.



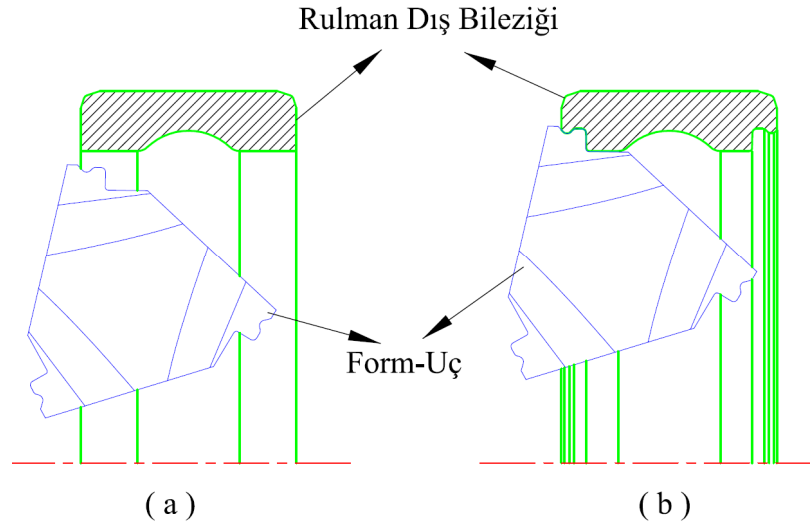


Şekil 3.9. Kapak yuva operasyonu, kater parametreleri.

Rulman bileziklerinin boyutu değişikçe kapak yuvası ölçüleri de değişmektedir. Her rulman tipinin kendine özel bir kapak yuva tasarımı vardır. Bu, her rulman tipi için ayrı bir uç tasarımının yapılması ve imal edilmesi anlamına gelmektedir. Yüzlerce tip rulman olduğu düşünüldüğünde, geliştirilen yeni bir form-uç tasarım prensibinin bütün uçlara aktarılması çok fazla uğraş gerektirecektir ve hata kaçınılmaz olacaktır. Tasarım aşamasında yapılabilecek hata oranını azaltmak ve daha hızlı tasarım yapabilmek amacıyla oluşturulan tasarım prensibi parametrik hale getirilmiş ve farklı ölçülerdeki rulman tiplerine kolayca uygulanabilmektedir.

### 3.4 Form-Uç Tasarım Prensibi

Rulmanlarda bulunan tipik bir kapak yuva geometrisi Şekil 3.7'da verilmiştir. Oldukça girift bir geometri olan kapak yuva profili, kendi profilinin tersine sahip bir takım ile oluşturulmaktadır. Şekil 3.10'da form- tornalama öncesi ve sonrasındaki iş parçası geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.10. Form-Tornalama öncesi, b) Form-Tornalama sonrası.

Kesici uç, profilini şeklen parça üzerine yansıtmakta (anahtar-kilit eşleşmesi) fakat ölçüsel bazı sapmalar oluşmaktadır. Bu sapmalar, kesici takım geometrisi ve kater tasarımından kaynaklanmaktadır. Özellikle kesici takımdaki talaş formu geometrisi, iş parçası ölçülerindeki sapmayı artırmakta ve basit trigonometrik hesaplamalarla takım tasarımını olanaksız kılmaktadır.

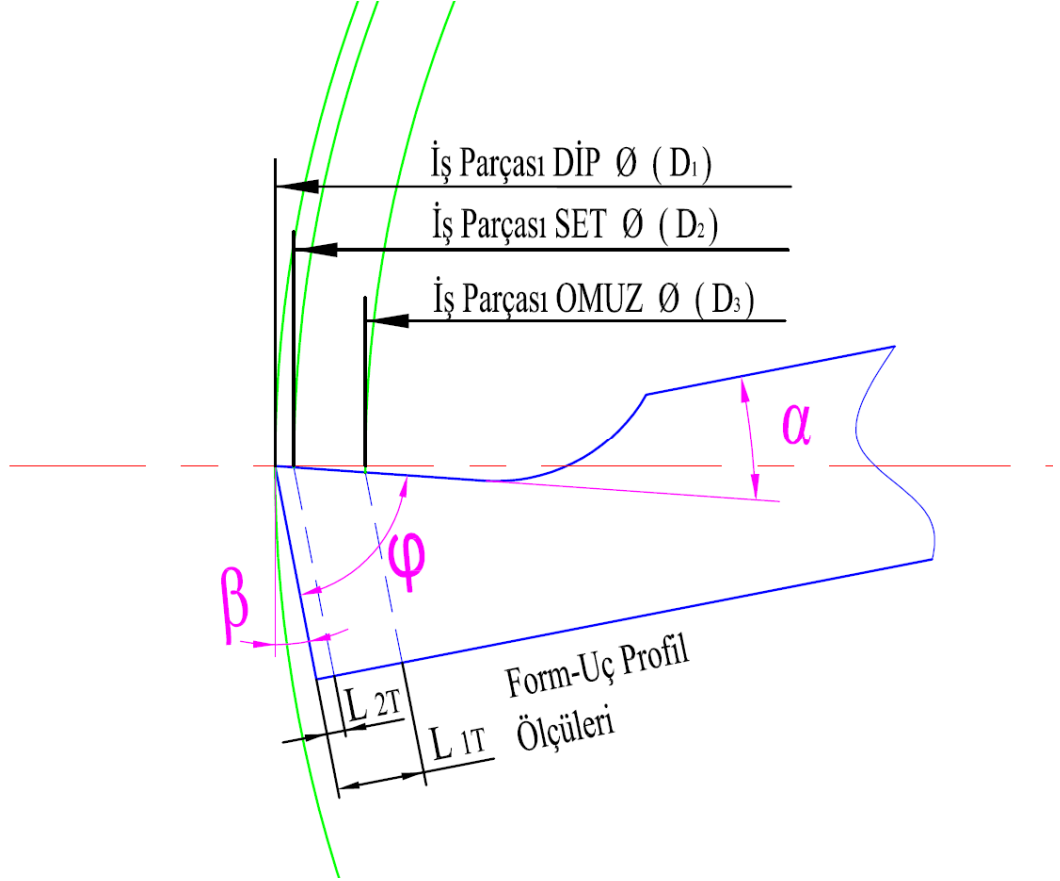
İş parçası üzerinde tek denemede hedef ölçüler elde edilecek şekilde form-uçların tasarlanması gerekmektedir. Özellikle iş parçası toleranslarının çok dar (Ör:  $\pm 20 \mu\text{m}$ ) olduğu durumlarda, doğru profil tasarımı daha da önem kazanmaktadır. İş parçası geometrisinin çok hassas toleranslarda istenmesi durumunda takım tasarımından kaynaklanan hatanın sıfırlanması veya minimuma indirilmesi gerekmektedir.

Buna göre, iş parçası ölçüleri, kater geometrisi ve kesici takım geometrisini oluşturan profil taşlama operasyon parametreleri (taşlama aparat geometrileri) dikkate alınmış ve en tüm değişkenleri kapsayan parametrik formüller oluşturulmuştur. Elde edilen parametrik formüller sayesinde, benzer geometride fakat farklı ölçülerdeki kapak yuva uç profillerinin hızlı ve hatasız bir şekilde tasarımı mümkün hale gelmiştir.

Trigonometrik formüller kullanılarak oluşturulan Form-Uç tasarım prensibi kolay anlaşılabilirlik açısından 4 aşamaya bölünerek her aşama ayrı açıklanmıştır.

### 3.4.1 Birinci Aşama: Geleneksel Form-Uç Tasarımı

Şekil 3.11’de verilen iki boyutlu çizimde en basit düzeyde form - takım tasarımı görülmektedir.



Şekil 3.11. İki boyuta indirgenmiş form-uç ve bilezik.

Şekil 3.11’de görülen takım sadece iki boyutta çizildiğinden, üç boyutlu bir talaş formuna sahip form-takımlar için tam doğru yaklaşımı vermeyecektir. Kapak yuva profilini işleyen form-uçlarda talaşın yönlendirilmesini sağlayan aksenal talaş açısı, ucun talaş formu profilini üç boyuta taşımaktadır. Şekil 3.11’de verilen çizimde aksenal talaş açısı yoktur. Bu şekilde talaş açısı 2 boyutta verilen bir takımın tasarımı aşağıdaki trigonometrik hesaplamalarla yapılabilmektedir.

Buna göre uç profilindeki  $L_{1t}$  ve  $L_{2t}$  mesafeleri;

$$L_{1T} = \left[ \sqrt{0,25 \cdot D_1^2 \cdot (1 - \sin(\Pi/2 - \varphi - \beta)^2)} - \sqrt{0,25 \cdot (D_3^2 - D_1^2 \cdot \sin(\Pi/2 - \varphi - \beta)^2)} \right] \cdot \sin(\varphi) \quad (3.1)$$

$$L_{2T} = \left[ \sqrt{0,25 \cdot D_1^2 \cdot (1 - \sin(\Pi/2 - \varphi - \beta)^2)} - \sqrt{0,25 \cdot (D_2^2 - D_1^2 \cdot \sin(\Pi/2 - \varphi - \beta)^2)} \right] \cdot \sin(\varphi) \quad (3.2)$$

formülleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Basitleştirilmiş form - takım tasarımına göre; ucun kama açısı, kater eğim açısı ve iş parçası ölçüleri bilindiğinde, 3.1 ve 3.2 denklemleri kullanılarak uç profilindeki mesafeler ( $L_{1T}$  ve  $L_{2T}$ ) hesaplanabilmektedir. Yapılan hesaplamada, kama açısı ( $\varphi$ ) veya talaş açısı ( $\alpha$ ) ölçüsünün doğru olarak tespit edilmesi gereklidir. İki açının birleşiminden oluşan özel talaş formu geometrisi sebebiyle kama açısı değerini tam olarak tahmin etmek zorlaşmaktadır. Kama açısı veya talaş açısının hesabı için ikinci aşamada verilen özel parametrik formüller oluşturulmuştur.

### 3.4.2 İkinci Aşama: Talaş Açısının Hesaplanması ( $\alpha$ )

Talaş Açısı ( $\alpha$ ) ve Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ ) ölçülürken veya modellenirken Form – Uç, tornalama yaptığı koşullarındaki gibi pozisyonlanması gereklidir. Aksi takdirde yanlış talaş açısı değerleri elde edilecektir. Aşağıda Talaş Açısının parametrik formülü verilmiştir. AA, BB ve CC değişkenleri formülü kısaltmak için tanımlanmıştır.

$$AA = \tan^{-1} \frac{\tan \Omega}{\cos \sigma} \quad (3.3)$$

$$BB = \tan^{-1} [\tan(\sigma) \cdot \cos(AA)] \quad (3.4)$$

$$CC = \tan^{-1} \left\{ \frac{\tan \left[ \lambda - \cos^{-1} \left[ \frac{\cos \sigma}{\cos BB} \right] \right]}{\cos(BB) \cdot \cos(AA - \Pi/6 + \delta)} \right\} \quad (3.5)$$

Talaş Açısı formülü;

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin(\Pi/2 - CC) \cdot \sin[AA - \Pi/6 + \delta] \cdot \tan(\sigma) \cdot \cos[AA] \cdot \sin(CC)}{1 + \cos(\Pi/2 - CC) \cdot \sin[AA - \Pi/6 + \delta] \cdot \tan(\sigma) \cdot \cos\left(\frac{\Omega}{\cos(\sigma)}\right) \cdot \sin(CC)} \right] + CC \quad (3.6)$$

Talaş açısı formülü incelendiğinde aşağıdaki değişkenlerden oluştuğu görülecektir;

- Talaş Formu Profil Açısı ( $\lambda$ )
- Talaş Formu Taşlama Aparatı Eğim Açısı ( $\sigma$ )
- Talaş Formu Aparatı Pozisyonlama Açısı ( $\Omega$ )
- Kater Pozisyonlama Açısı ( $\delta$ )

### 3.4.3 Üçüncü Aşama: Eksenel Talaş Açısının Hesaplanması ( $\gamma$ )

Aşağıda eksenel talaş açısı değerinin analitik olarak hesaplanmasını sağlayan parametrik formül verilmiştir. DD ara değişkeni ana formülü kısaltmak için tanımlanmıştır.

$$DD = \frac{\tan \Omega}{\cos \sigma} \quad (3.7)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos[\tan^{-1}(DD) - \Pi/2 + \delta] \cdot \tan(\alpha) - \frac{\tan \left[ \lambda - \sin \left[ \frac{\sin(\sigma)}{\sin(\tan^{-1}(\tan(\sigma) \cdot \cos(\tan^{-1}(DD)))} \right]}{\cos(\tan^{-1}(\tan(\sigma) \cdot \cos(\tan^{-1}(DD)))} \right)}{\sin(\tan^{-1}(DD) - 2 + \delta)}}{\sin(\tan^{-1}(DD) - 2 + \delta)} \right] \quad (3.8)$$

Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ ) formülü de aynen talaş açısı formülünde olduğu gibi aşağıdaki değişkenlere bağlı olarak hesaplanmıştır;

- Talaş Formu Profil Açısı ( $\lambda$ )
- Talaş Formu Taşlama Aparatı Eğim Açısı ( $\sigma$ )
- Talaş Formu Aparatı Poazisyonlama Açısı ( $\Omega$ )
- Kater Pozisyonlama Açısı ( $\delta$ )

### 3.4.4 Dördüncü Aşama: Profil Döndürme Açısının Hesaplanması ( $\theta$ )

Bu aşamada Eksenel Talaş Açısının, iş parçası ölçülerinde yapmış olduğu sapmanın telafi edilmesini içeren yöntemlerden bahsedilmiştir. Şekil 3.12' de eksenel talaş açısının bilezik profiline olan etkisini açıklayabilmek için, sık kullanılan bir rulman tipi seçilmiş ve bu rulmanın dış bilezik kapak yuva ucu üzerinden gösterilmiştir. Kapak yuva profilinin omzunu işleyen kısma bakıldığında bileziğin omuz profilinin

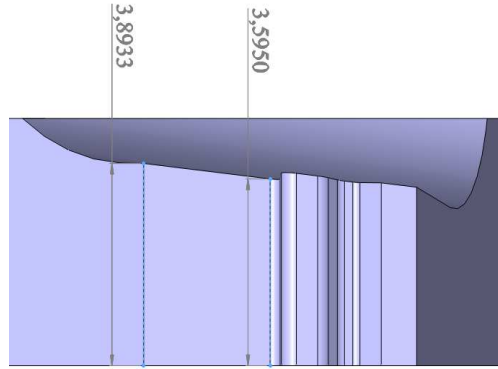
başlangıç ve bitiş çapları iki - boyutlu çizgisel olarak modellenmiş ve elde edilen çap ölçüleri Şekil 3.13' de verilmiştir. Şekil 3.13'de görülen çap ölçülerinden biri bilezikte oluşan omuz profilinin başlangıç noktasını, diğeri ise bitiş noktasını ifade etmektedir. Çap ölçülerine bakıldığında normalde bilezik tasarımına omuz profili eksene paralel bir çizgi olması gerekirken, başlangıç ve bitiş noktaları arasında çap farkı olduğundan konik bir yüzeyi ifade etmektedir.

Çap ölçüleri arasındaki fark;

$$43,8638 \text{ mm} - 43,7500 \text{ mm} = 0,1138 \text{ mm}$$

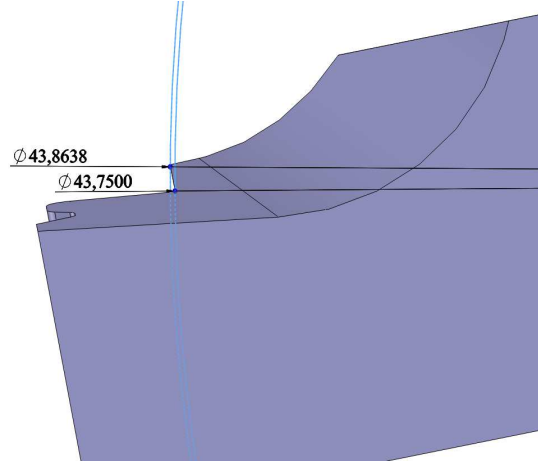
$$0,1138/2 = 0,057 \text{ mm}$$

Bu farkı oluşmasını sağlayan parametre talaş formunda bulunan Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ ) değeridir. Eğer eksenel talaş açısı değeri sıfır olsaydı, Şekil 3.12'da modeli verilen ucun profili aynı eksen yüksekliğinde olacaktır. Şekil 3.12'de görüleceği üzere, yaklaşık  $6^\circ$  'lik eksenel talaş açısı, kapak yuva omuz profilinin başlangıcı ile bitiş noktası arasında yaklaşık 0,3 mm yükseklik farkı oluşturmaktadır.



Şekil 3.12. Aynı profil üzerinde değişken eksen yükseklikleri.

Takım hareketine dik olarak bilenen profiller, eksenel talaş açısının etkisi sebebiyle hiçbir zaman iş parçasında eksene paralel çıkmamaktadır. Örnek olarak incelenen rulman tipinde omuz profili parçanın eksenine paralel olması gerekirken yaklaşık  $1^\circ 18'$  kadar açılı çıkmaktadır. Bilezik kapak yuvasında resme uygun olmayan kabul edilemeyecek bu açı, uç profiline ters yönde açı verilerek çözülmektedir. Şekil 3.13'de bilezik eksenine paralel olarak verilen görünüşte, takım profiline uygun miktarda açı verilmesi gerekliliği açıkça görülmektedir.



Şekil 3.13. Çalışma koşullarındaki model (yan profilden).

Şekil 3.13’de uç üzerindeki omuz profili yan görünüşe iz düşüm alındığında, elde edilen çizginin Kater Eğim Açısı (  $\beta$  ) kadar döndürülmesi gerektiği görülmüştür. Yapılacak olan bu işlem kapak yuva profilindeki bütün doğru parçalarında yapılması gerekmektedir. Bilezik yanaklarına dik olarak bakıldığında yansıtılan Dip, Set, ve Omuz çizgilerinin Kater Eğim Açısı kadar döndürülmesi gereklidir. Döndürme işlemi uç profilinden yapılacağından, profildeki birim açı değeri kadar döndürmenin, iz düşüm doğrularını kaç birim döndüreceği sorusu karşımıza çıkmaktadır.

Uç profilinde yapılacak olan yaklaşık  $1^\circ - 2^\circ$  civarındaki açı verme işleminin hangi değişkenlere bağlı olduğu belirlenmiş ve Profil Döndürme Açısı parametrik formül haline getirilmiştir. Aşağıda Profil Döndürme Açısının ( $\theta$ ) değişkenlere bağlı olan parametrik formu verilmiştir;

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{(FF)^2 + (GG)^{-2} + 2 \cdot FF/GG + (\sin \beta)^{-2} - (\cos(\tan^{-1}(FF)))^{-2}}{2 \cdot \sqrt{(FF + GG^{-1})^2 + (\sin \beta)^{-2}}} \right] \quad (3.9)$$

$$FF = \tan \beta \cdot \tan \gamma \quad (3.10)$$

$$GG = \tan \beta \cdot \sin \gamma \quad (3.11)$$

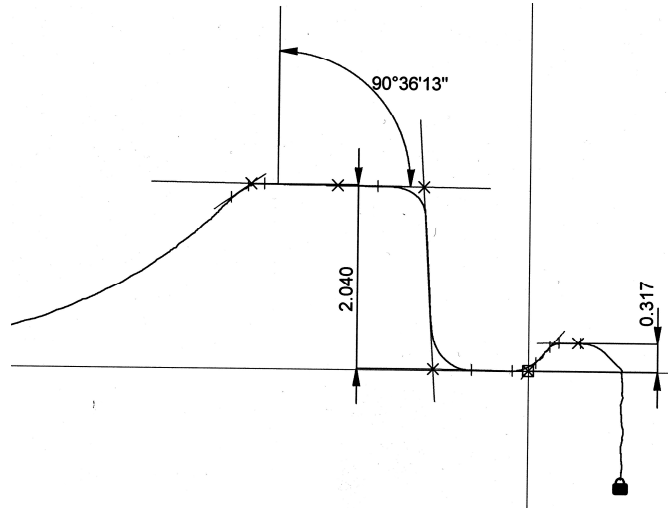
Profil Döndürme Açısının formülü aşağıdaki parametrelere bağlı olarak değişmektedir;

- Kater Eğim Açısı ( $\beta$ )
- Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ )

### 3.5 Yeni Tasarım Prensiplerinin Test Edilmesi

Önceki yaklaşımlarda, uç profili tasarımı tam olarak iş parçası nominal ölçülerini elde edilecek şekilde tasarlanamadığı için deneme yanılma yöntemiyle uç tasarımında sonradan düzeltmeler yapılması gerekmektedir. Yukarıda 4 Aşama olarak tanımlanan tasarım prensibine göre birçok uç tasarımı yapılmış ve herhangi bir revizyon ihtiyacı duyulmadan seri imalatta sorunsuz olarak çalışılmaktadır.

Yaklaşımın test edilmesi için pilot olarak sık kullanılan bir rulman tipi seçilmiştir. Ucun tasarımı yeni yaklaşıma göre yapılmış ve profil taşlama operasyonu ile belirlenen parametreler kullanılarak üretilmiştir. Ardından kapak yuva tornalama operasyonunda test edilen uçlar ile optimum şartlarda bilezik işlenerek kapak yuva profili ölçümü yapılmıştır. Şekil 3.14'de Marf Surf Profilometer ile ölçümü yapılan bileziğe ait ölçüm sonucu verilmiştir.



Şekil 3.14. Form\_tornalanmış dış bilezik kapak yuva profili.

Yapılan ölçüm sonucunda göre bileziğin omuz-dip mesafesi nominal ölçüde, set ve dip çapı mesafesi ise  $3\mu\text{m}$  hata ile elde edilmiş olup omuz profili yaklaşık  $0.5^\circ$  'lik



sapma göstermiştir. Bu değer bilezik ve takım imalatından kaynaklanan sapmalar sebebi ile oluşmaktadır.

### **3.6 Tasarım Kısıtları**

Şimdiye kadar 4 aşamada aktarılan tasarım prensibi, iş parçası üzerinde istenilen profili elde edebilmek için uç üzerine yapılması gereken küçük ölçüsel ve açısal düzeltmelerin değerini vermektedir. Teorik olarak, hangi Talaş Formu Tasarımı ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ) olursa olsun parametrik formüller sayesinde ucun olması gereken profilini çıktı olarak verecektir. Burada önemli olan uç malzemesinin, belirtilen Talaş Formu ölçülerinde kırılmadan çalışabilmesidir. Bu sebeple tasarım kısıtını oluşturan parametreler talaş formu, operasyon parametreleri (devir, ilerleme vb.) ve kesici uç malzemesidir. Geliştirilen analitik yaklaşım, trigonometrik hesaplardan oluştuğundan herhangi bir tasarım kısıtı yoktur.

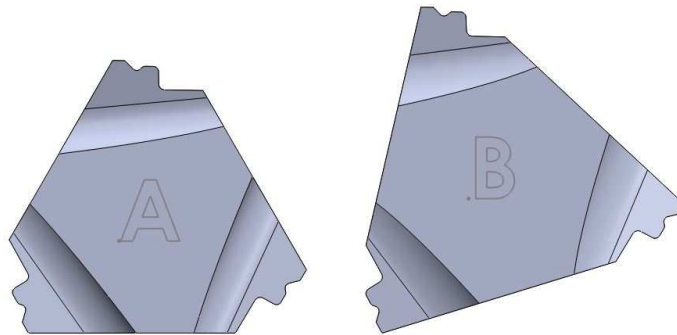
#### 4. TALAŞ FORMU GEOMETRİSİNİN UÇ ÖMRÜNE ETKİSİ

Uç profili tasarım prensibi oluşturulduktan sonra yapılan çalışmanın ikinci kısmı olan, talaş formu profilinin uç ömrüne etkisinin araştırılması kapsamında farklı talaş formuna sahip uçlar tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Form – Uç üretimi, önceki bölümde detayları verilmiş olan profil taşlama operasyonu ile yapılmıştır. İki farklı talaş formuna sahip uçlar seri imalatta ömür testine tabi tutulmuş ve üzerlerine etki eden kesme kuvvetleri de 3 ekseninde ölçülmüştür.

##### 4.1 Talaş Formu Tasarımı

Talaş formu geometrisinin uç ömrüne etkisini araştırma amacıyla mevcut çalışan talaş formu profiline ek olarak bir talaş formu tasarımı daha yapılmıştır. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için her iki uca da aynı kapak yuva profili tasarımı yapılmıştır. Önceki bölümde detaylı olarak verilmiş olan analitik yöntem kullanılarak uç profilleri tasarlanmıştır. Farklı talaş formları, parça üzerinde oluşacak profilde sapmalar meydana getireceğinden, oluşturulan Form-Uç tasarım prensibi yardımıyla bilezik kapak yuvası ölçülerinde olabilecek muhtemel sapmaların önüne geçilmiştir. Şekil 4.1’de, tasarımı yapılan uçların 3-D modelleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı talaş formuna sahip uçların 3-D modeli.

A ve B olarak isimlendirilen uçların talaş formları arasındaki geometrik farklılık Şekil 4.1’de açıkça görülmektedir. B ucu seri imalatta kullanılan tasarımı ifade

etmektedir. A ucu ise yeni tasarımı yapılan ucu belirtmektedir. Çizelge 4.1’de ise uçların tasarımında kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tasarım Parametreleri.

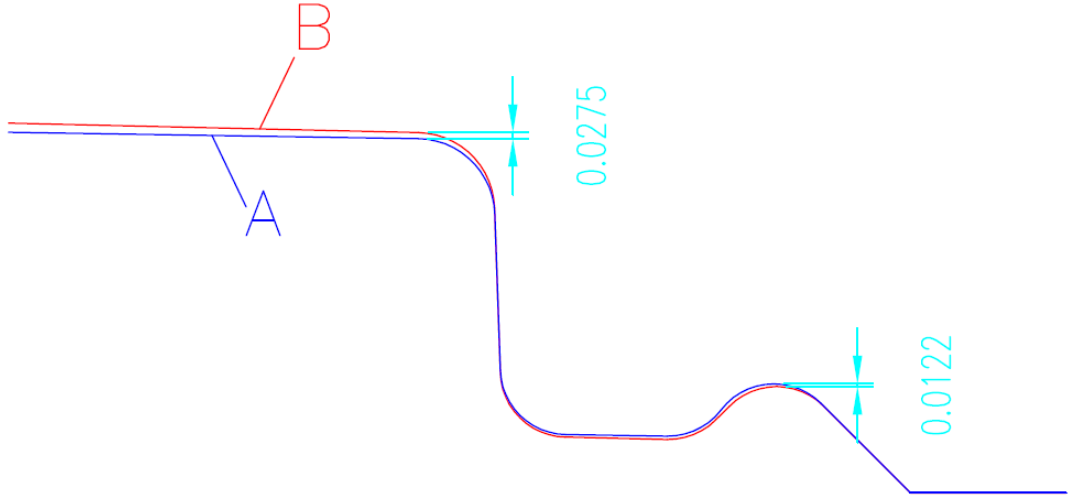
	Talaş Formu Profil Açısı	Talaş Formu Aparatı Eğim Açısı	Kater Pozisyonlama Açısı	Kater Eğim Açısı	Talaş Formu Aparatı Pozisyonlama Açısı
	$\lambda$	$\sigma$	$\delta$	$\beta$	$\Omega$
A Ucu	18°	8°	0°	10°	35°
B Ucu	8°	8°	17°	11°	20°

Çizelgede verilen parametreler kullanılarak talaş formu ve profil tasarımı yapılan uçlarda, elde edilen Talaş Açısı değerleri ( $\alpha$  ve  $\gamma$ ) Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Talaş açısı değerleri.

	Talaş Açısı	Eksenel Talaş Açısı
	$\alpha$	$\gamma$
A Ucu	14°	5,3°
B Ucu	6,2°	6,8°

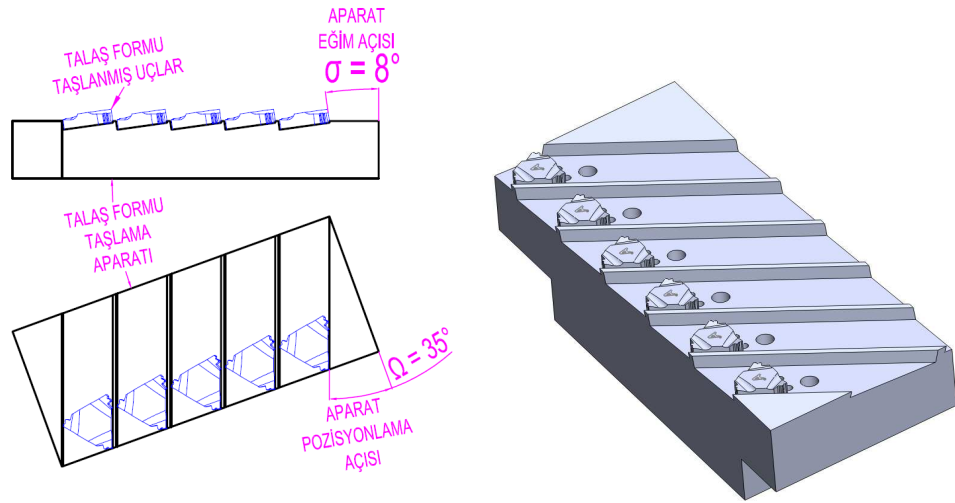
Aynı kapak yuva profilini tornalamak amacıyla üretilen farklı talaş formundaki iki ucun profilinde oluşan sapma Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu sapma talaş formu geometrisinden kaynaklanmaktadır. Nihayetinde her iki takım da iş parçasında aynı ölçüde profil tornalayacaktır.



Şekil 4.2. A ve B uç profillerinin karşılaştırılması.

#### 4.2 Form-Uçların Üretimi

Tasarımı yapılan uçların, üretim aşamasına geçilmiştir. *B* ile ifade edilen uç, seri imalatta kullanıldığından mevcut aparat kullanılarak üretimi yapılmıştır. *A* ucu için ise yeni bir aparat yapma gerekliliği oluşmuştur. Şekil 4.3’de ilgili parametreleri verilen aparat, *A* ucunun talaş formunu bilemek amacıyla imal edilmiştir.



Şekil 4.3. Talaş formu aparat açıları ve modeli (A ucu için).

Yeni aparat kullanılarak üretilen A ucu ve mevcut imalatta kullanılan B ucu Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Bilenmiş uçlar.

### 4.3 Ömür Testleri

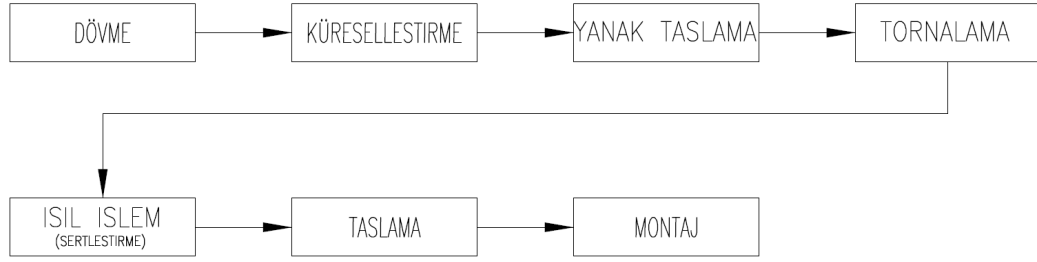
İmalatı yapılan 2 farklı talaş formuna sahip uçlar, seri imalatta ömür testine tabi tutulmuştur. Uçların profili, sık kullanılan rulman tipi olan 6203 rulmanın kapak yuva profiline göre tasarlandığından, 6203 dış bileziğinin kapak yuva operasyonunda ömür verileri alınmıştır.

İş parçası malzemesi DIN normunda 100Cr6 veya Amerikan normunda AISI 52100 olarak geçen rulman çeliğidir. Hammadde çubuk şeklinde temin edilmektedir. Çizelge 4.3’de 100Cr6 rulman çeliğinin kompozisyonu verilmiştir.

Çizelge 4.3. 100Cr6 (DIN) kompozisyonu [25].

Wt%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu	O
Min.	0.93	0.15	0.25	-	-	1.35	-	-	-	-
Maks.	1.05	0.35	0.45	0.025	0.015	1.60	0.10	0.050	0.30	0.0015

Uç ömür testleri için kullanılacak olan 6203 rulman tipine ait operasyon akış şeması Şekil 4.5’de verilmiştir.

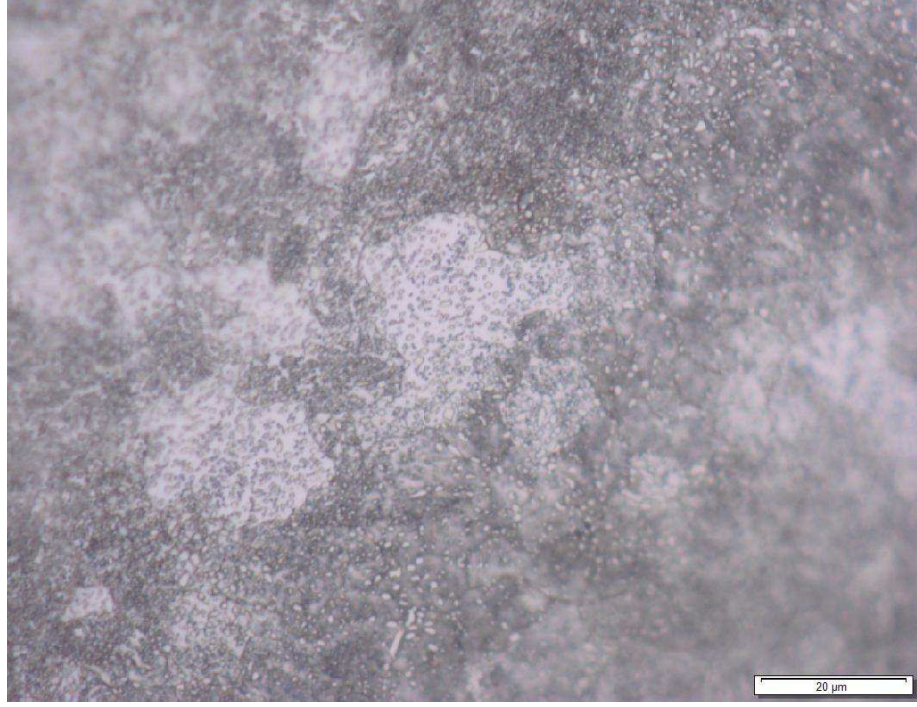


Şekil 4.5. 6203 rulman tipi için imalat akış şeması.

Akış şemasında görüldüğü üzere rulman çeliği Dövme, Küreselleştirme ısıl işlemi ve Yanak taşlamadan sonra Tornalama operasyonuna gelmektedir.

Dövme operasyonunda, temin edilen 100Cr6 çubuk malzemeler indüksiyon fırınlarında 1100°C' ye ısıtılmakta ve sonrasında 4 istasyonlu tezgahta dövülmektedir. 1. istasyonda muhtelif boyutlarda kesilen parçalar 2. istasyonda pasta haline getirilmekte, 3. istasyonda ön form verilerek son istasyonda halka geometrisinde parçalar elde edilmektedir.

Sıcak dövme işleminden sonra malzeme kontrolsüz soğumaya tabi tutulduğundan, malzemenin iç yapısı talaşlı işleme için uygun yapıda değildir. Bu sebeple malzemenin iç yapısında bulunan karbür taneleri, ısıl işlem yoluyla küresel şekle getirilerek homojen bir dağılım elde edilmekte ve talaşlı imalata uygun bir iç yapı oluşturulmaktadır. Küreselleştirme işlemi yaklaşık 700°C 'de yapılmakta ve işlem 14 saat sürmektedir. Ömür testi için kullanılan bileziklerin ferritik iç yapısı küreselleştirme ısıl işleminde oluşturulmaktadır. Şekil 4.6'da küreselleştirme ısıl işlemi sonrası mikroskop altında 1000 büyütmede çekilen bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.6. 100Cr6 Küreselleştirme sonrası iç yapı (1000X).

Küreselleştirme sonrasında iç yapı talaşlı imalata uygun hale gelmektedir. Tornalama öncesinde son bir operasyon ile iş parçasının, ilk referans alınacak kısımları yanak taşlama işlemiyle düzeltilmektedir. Bu sayede iş parçası geometrik olarak da talaşlı imalata hazırlanmış olmaktadır.

Çizelge 4.4’de ömür testine ait operasyon parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kapak yuva operasyonu işleme parametreleri.

6203 Dış Bilezik Kapak Yuva Operasyon Parametreleri	
Devir	900 dev/dk
İlerleme	0,15 m/dk
Kesme Hızı	100 m/dk
Çevrim Süresi	3 sn

Her iki tip talaş formu uçtan 20'şer adet (60 köşe) imal edilmiş ve bu uçlarla toplamda 650.000 adet kapak yuvası tornalanarak, 325.000 adet bilezik üretilmiş ve test tamamlanmıştır. TNGN 2204 geometrisindeki taslak uçlar kullanılarak üretilen 3 köşeye sahip form-uçlar ile ömür testleri yapılmıştır. Seri imalatta yapılan testte 20'şer adet uç kullanılmıştır. Üçgen geometriden dolayı toplamda 60'ar köşeye denk gelmektedir. Yapılan testler mevcut seri olarak çalışan imalat hattında denenmiş yaklaşık 325.000 adet bilezik üretilmiştir. Bilezikler, rulman üretiminde kullanılmak üzere problemsiz olarak bir sonraki operasyona aktarılmıştır. Aşağıda verilen Çizelge 4.5'de testi yapılan uçların çalışma şartları ile ortalama, maksimum ve minimum ömür değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Ömür testi sonuçları.

	Form-Uçlar	
	<i>A</i>	<i>B</i>
Devir [dev/dk]	900	900
İlerleme [m/dk]	0,15	0,15
Maks. Ömür [adet]	10000	4450
Min. Ömür [adet]	225	1350
Ortalama Ömür [adet]	7630	3376
Standart Sapma $\sigma$	2076,6	697,8

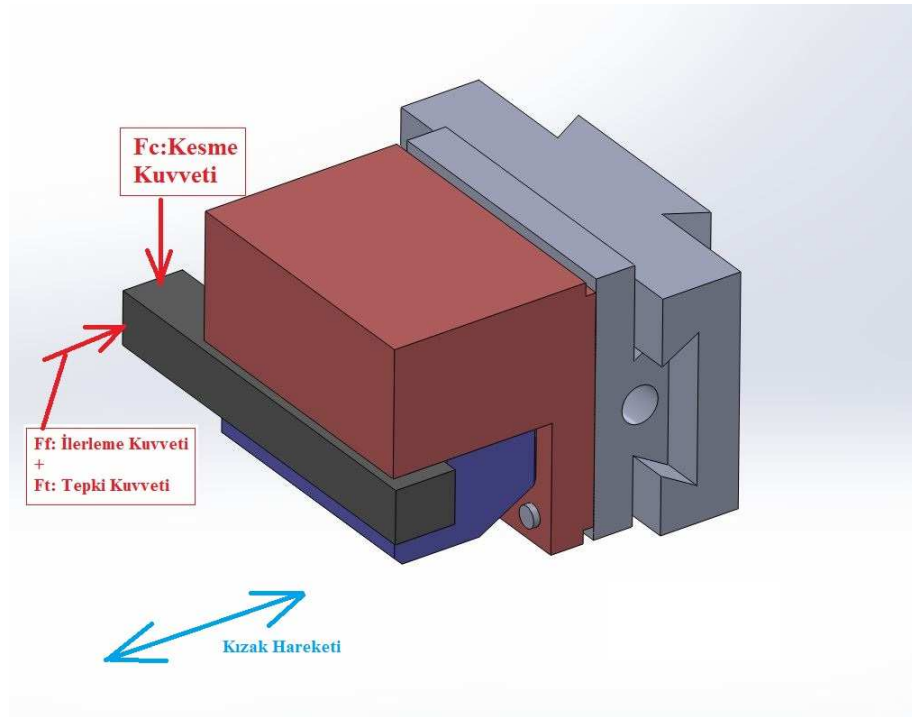
Ortalama ömür hesabında maksimum ve minimum ömür değerleri dikkate alınmamıştır, ayrı olarak Çizelge 4.5'de belirtilmiştir. Çizelge 4.5'de verilen ömür testi sonuçlarına bakıldığında A ucundan ortalama olarak B ucuna göre %126 daha yüksek ömür alınmıştır. Bir başka deyişle 1 adet A ucu ömür olarak yaklaşık 2,26 adet B ucuyla eşit ömür vermektedir. Burada takım değiştirme süreleri de dikkate alınırsa elde edilen kazanç daha da artmaktadır.



A ucunun daha fazla ömür vermesi kesme kuvveti ölçümleri ile de paralel sonuç vermektedir. A ucunun daha yüksek ömür vermesinin sebebi daha düşük kesme kuvvetlerinde çalışmasıyla açıklanabilir.

#### 4.4 Kesme Kuvveti Ölçümü

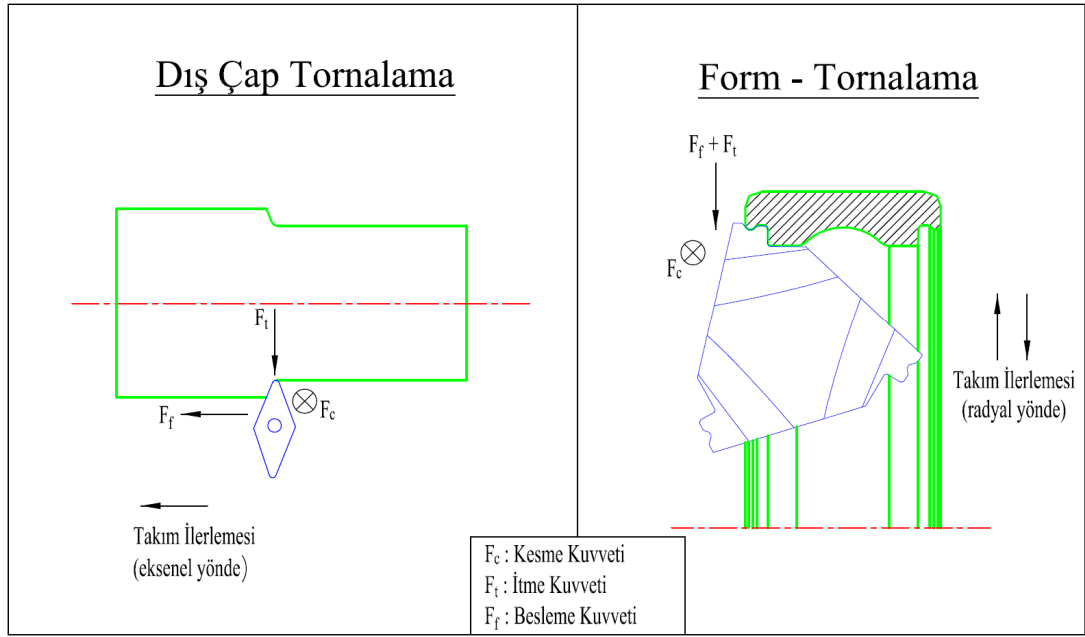
Farklı talaş formlarının kesme kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Kesme kuvveti ölçümlerinin alınması için bir deney tasarımı yapılmış ve her iki takım için 3 farklı devir, 2 farklı ilerleme değerlerinde KISTLER marka dinamometre yardımıyla ölçümler alınmıştır. Dinamometre özel bir aparat yardımıyla, kuvvet ölçümünün alınacağı tek milli torna tezgahına monte edilmiştir. Şekil 4.7’de kullanılan bağlama aparatı ve dinamometrenin modeli görülmektedir.



Şekil 4.7. Dinamometre ve bağlama aparatı.

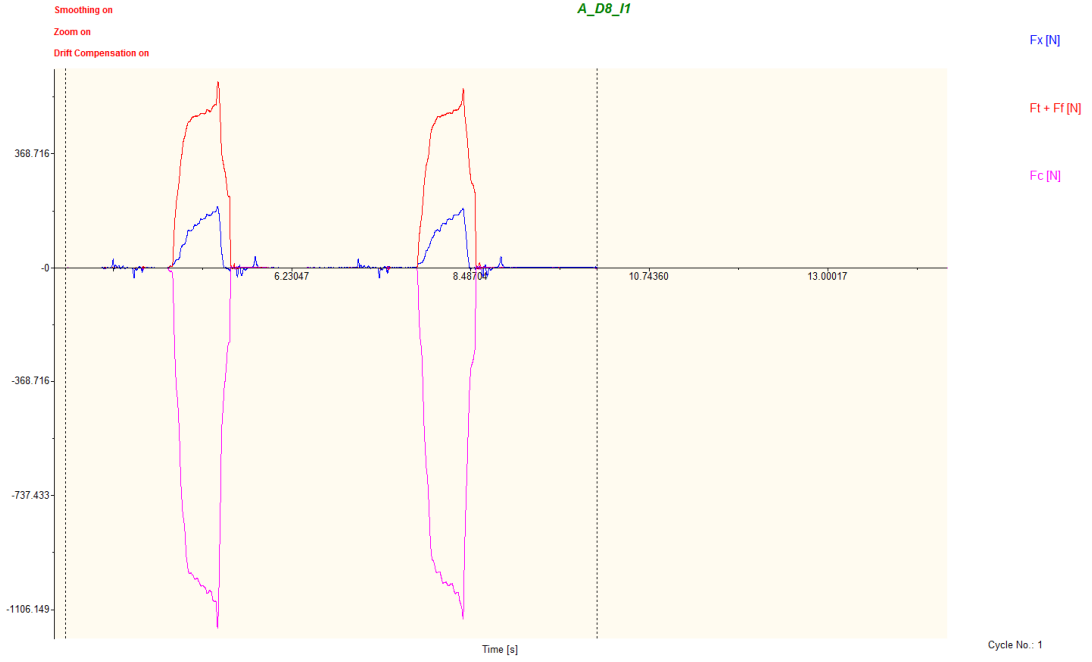
Şekil 4.7’de kater üzerine gelen kuvvetlerin yönlerine bakıldığında, Besleme Kuvveti ( $F_f$ ) ve İtme Kuvvetinin ( $F_t$ ) aynı yönde olduğu görülmektedir. Yapılan tornalama işlemi klasik bir çap tornalama işleminden bu noktada ayrılmaktadır.

Form\_Tornalama işleminde takım hareketi, bileziğe göre radyal yönde hareket etmekte yani dalma tornalama yapmaktadır. Şekil 4.8’da, yapılan tornalama işleminin klasik çap tornalama işlemiyle arasındaki fark açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. Form-Tornalama (Dalma) ve çap tornalama operasyonları farkı.

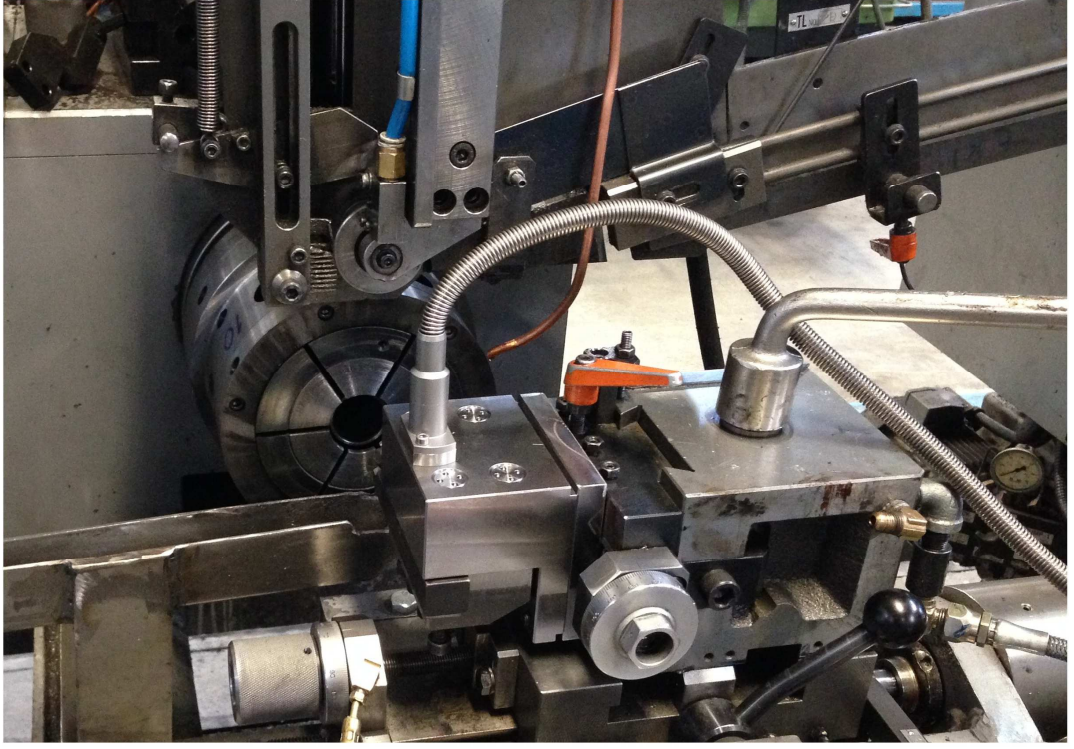
Kuvvet ölçümünün yapıldığı dinamometre 3 eksenli kuvvet ölçümü yapabilmektedir. Form-Tornalama işleminde alınan 3 eksenli kuvvet değerlerinden bir tanesi kendi başına kesme kuvvetini, 1 tanesi de besleme ve itme kuvvetinin toplamını temsil etmektedir. Alınan diğer kuvvet değeri ise aksiyel yönde etki eden kuvvet değerini vermektedir, ki bu kuvvet değerinin çalışmamızda incelenmesine gerek duyulmamıştır. Alınan kuvvet ölçümlerinden bir örnek Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9. Kesici uca etki eden kuvvetlerin dağılımı.

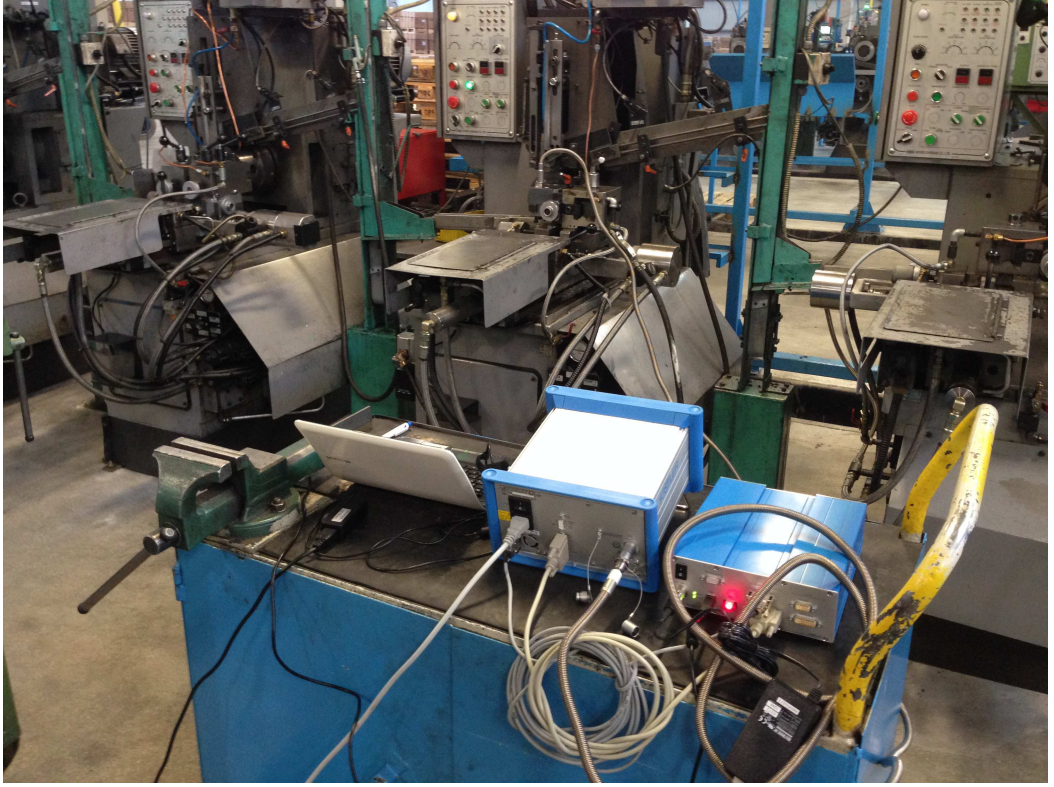
800 dev/dk ayna hızı ve 0,15 m/dk ilerleme hızında alınan A ucuna ait kuvvet grafiği (Şekil 4.9) dağılımını incelendiğinde pembe renkli dağılım Kesme Kuvvetini ( $F_c$ ), kırmızı renkteki dağılım ise Besleme Kuvveti ( $F_f$ ) ve İtme Kuvvetinin ( $F_t$ ) toplamını ifade etmektedir. Mavi renkle tanımlanan kuvvet grafiği ise uca eksenel yönde etki eden kuvvet değerlerini belirtmektedir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, kuvvet değerleri incelenirken eksenel yönde gelen kuvvet değeri ( $F_x$ ) dikkate alınmayacaktır çünkü, ucun talaş formundaki değişikliğin  $F_x$  kuvvet değerini etkilemeyeceğine sonucuna varılmıştır.

Kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) negatif işaretli çıkmasının sebebi dinamometrenin tezgaha bağlanma pozisyonundan kaynaklanmaktadır. Şekil 4.10'da, dinamometrenin tezgaha bağlanmış halde çekilen bir fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.10. Dinamometrenin monte edildiği tezgah.

Dinamometrenin bağlandığı tezgah üniversal bir tezgah olmadığından, cihazın montajı sırasında birçok problemle karşılaşmıştır. Öncelikle veri aktarım kablosunun tezgahın kızaklarına denk gelmesi sebebiyle dinamometre ters bağlanmak zorunda kalmıştır. Bu sebeple Kesme kuvveti ( $F_c$ ) verileri eksi değerde alınmıştır. Diğer bir problem ise tezgahın sadece bilezik tornalama için spesifik olmasından dolayı kızak hareketlerinin sınırlandırılmış olmasıdır. Tezgahın katerliği yerine kuvvet ölçüm cihazı yerleştirildiğinde, form-uç kesme sınırlarının dışına çıkmaktadır. Bu sorunu çözmek için tezgah kızakları ayarları değiştirilerek işleme sınırlarının içine çekilmiştir.



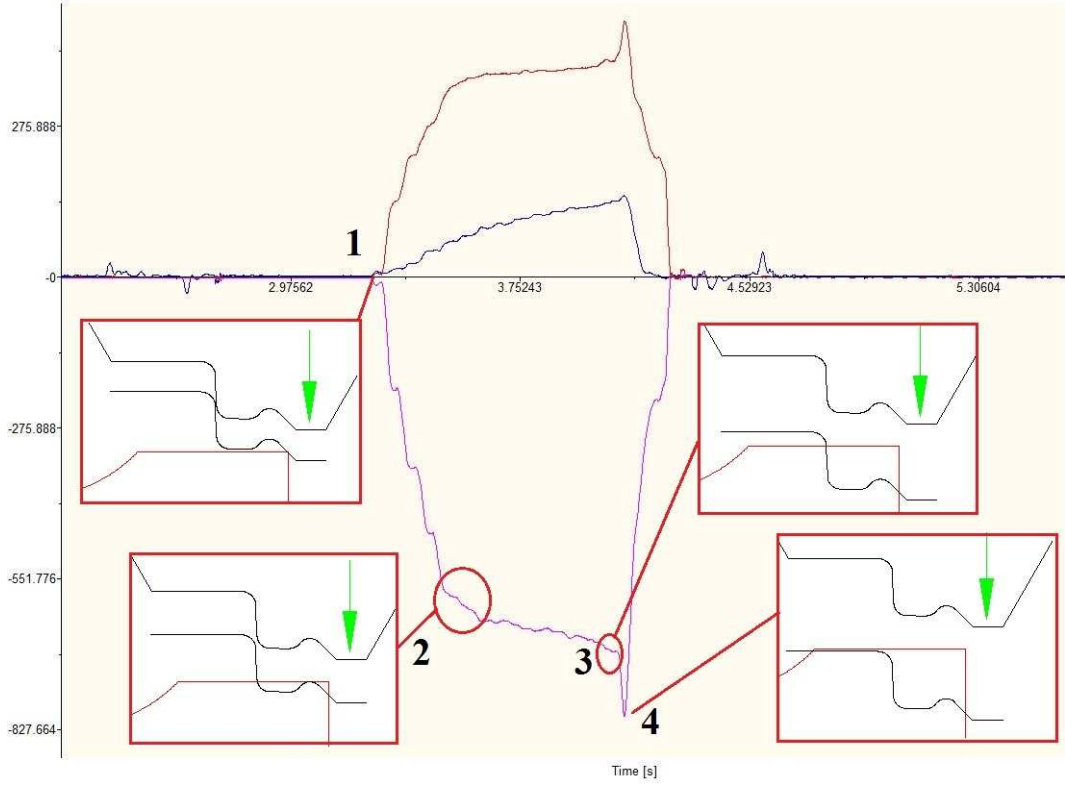
Şekil 4.11. Kuvvet ölçüm düzeneği.

Şekil 4.11’de kuvvet ölçüm ekipmanlarının tezgaha monte edilmiş, kuvvet ölçümüne hazır hale getirilmiş bir fotoğrafı görülmektedir. Kuvvet ölçüm ekipmanı kurulumu tamamlandıktan sonra Çizelge 4.4’de verilen deney tasarımına göre kuvvet ölçümleri alınmıştır.

Çizelge 4.6. Deney tasarımı.

UÇ	Devir [dev/dk]	İlerleme [m/dk]	Deney No
A	800	0,15	A_D8_I1
		0,1	A_D8_I2
	900	0,15	A_D9_I1
		0,1	A_D9_I2
	1000	0,15	A_D10_I1
		0,1	A_D10_I2
B	800	0,15	B_D8_I1
		0,1	B_D8_I2
	900	0,15	B_D9_I1
		0,1	B_D9_I2
	1000	0,15	B_D10_I1
		0,1	B_D10_I2

Kesme kuvveti ölçümleri Çizelge 4.6.'da verilen deney tasarımına göre yapılmıştır. Şekil 4.12.'de verilen kesme kuvveti grafiği üzerinde, form-ucun ilerleme esnasındaki anlık konumuna denk gelen kuvvet eğrisindeki değişimler eşleştirilmiştir.



Şekil 4.12. Uç konumuna göre kuvvet grafiğinin dağılımı.

Şekil 4.12'ye göre, 1 no'lu bölge ucun bileziğe ilk temas ettiği noktayı ifade etmektedir. Uç 1 ve 2 noktası arasında ilerlerken, kesme işlemine katılan profil uzunluğu artmaktadır. Bu sebeple kuvvet eğrisinde yüksek bir ivmeyle artış gözlemlenmektedir. 2 ile 3 noktaları arasında nispeten daha düşük bir eğim ile artış gözlemlenmektedir. 2 noktasından sonra kesmeye katılan profil uzunluğu 3 noktasına kadar neredeyse sabit denilebilecek seviyededir. 3 ile 4 noktaları arasında ise omuz kısmının kesmeye dahil olmasıyla kuvvet yüksek bir eğimle artmakta ve uç hedef noktaya ulaştığında kuvvet en üst seviyeye ulaşarak kapak yuva formunu bilezik üzerinde oluşturmaktadır. Daha sonra uç geriye doğru çıkarken kuvvet eğrisi de hızla sifira inmektedir.

Yukarıda kesme kuvveti ( $F_c$ ) kullanılarak yapılan yorumlama, itme ( $F_t$ ) ve besleme ( $F_f$ ) kuvvetinin toplamını belirten kırmızı renkli eğri içinde geçerlidir. İncelendiğinde her iki kuvvet eğrisindeki değişimlerin, aynı zamanda ve yaklaşık aynı eğimle artma veya azalma gösterdiği anlaşılabacaktır.

Form-Tornalama işlemi, dalma şeklinde bir tornalama olduğundan ve karmaşık bir profil oluşturulmaya çalışıldığından, Şekil 4.12.'deki gibi bir kuvvet eğrisi karşımıza çıkmaktadır. Klasik bir tornalama işleminde sabit talaş miktarı, sabit ilerleme ve sabit devir ile alınan kuvvet eğrilerine göre karmaşık ve yorumlaması güç eğriler karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi, operasyon esnasında kesme kesmeye katılan profil uzunluğunun giderek artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca takım, iş parçasına göre radyal yönde ilerlediğinden, kesme yapılan çap ölçüsü sürekli artmakta, dolayısıyla devir sabit tutulduğundan, kesme hızı sürekli değişkenlik göstermektedir.

Çizelge 4.7'de iki tekrarlı olarak yapılan kuvvet ölçümlerine ait maksimum kesme kuvvetlerinin ortalaması verilmiştir.

Çizelge 4.7. Maksimum kesme kuvvetleri ( $F_c$ , ve  $F_t+F_f$ ).

UÇ	Devir [dev/dk]	İlerleme [m/dk]	Test No	Maks. $F_c$ [N]	Maks. $F_t+F_f$ [N]
<b>A</b>	800	0,15	A_D8_I1	1164,5	595,5
		0,1	A_D8_I2	824,5	492,5
	900	0,15	A_D9_I1	1014	537
		0,1	A_D9_I2	811	467,5
	1000	0,15	A_D10_I1	955	510
		0,1	A_D10_I2	785,5	458
<b>B</b>	800	0,15	B_D8_I1	1211,5	813,5
		0,1	B_D8_I2	1046	741
	900	0,15	B_D9_I1	1127,5	778
		0,1	B_D9_I2	1009	705,5
	1000	0,15	B_D10_I1	1082	744,5
		0,1	B_D10_I2	906,5	692,5

Elde edilen kuvvet çıktıların istatistiksel analizi MINITAB yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 4.8'de Kesme kuvvetine ait ANOVA tablosu görülmektedir.



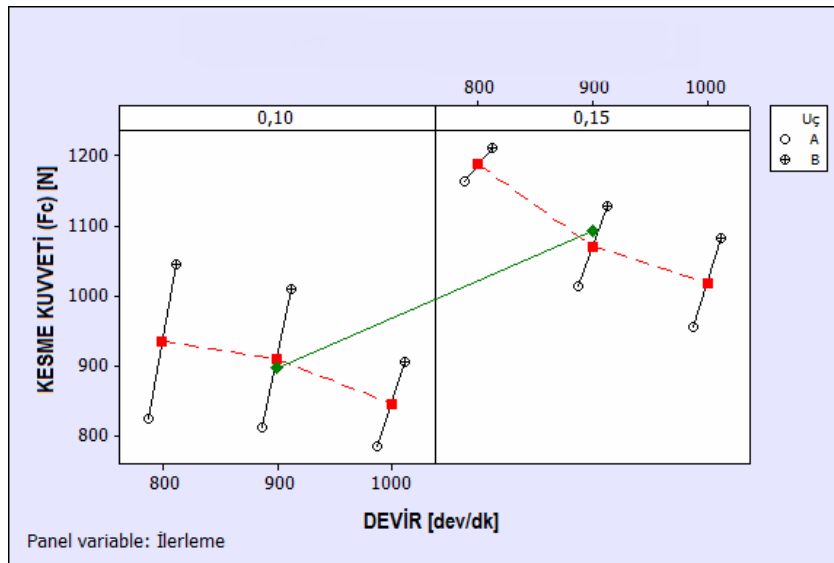
Çizelge 4.8. Kesme Kuvveti ( $F_c$ ) için ANOVA tablosu.

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Uç	1	114264	114264	114264	108,5	0
Devir	2	67181	67181	33591	31,9	0
İlerleme	1	228931	228931	228931	217,39	0
Uç*Devir	2	1050	1050	525	0,5	0,619
Uç*İlerleme	1	10668	10668	10668	10,13	0,008
Devir*İlerleme	2	10028	10028	5014	4,76	0,03
Uç*Devir*İlerleme	2	8145	8145	4073	3,87	0,051
Hata	12	12637	12637	1053		
Toplam	23	452905				

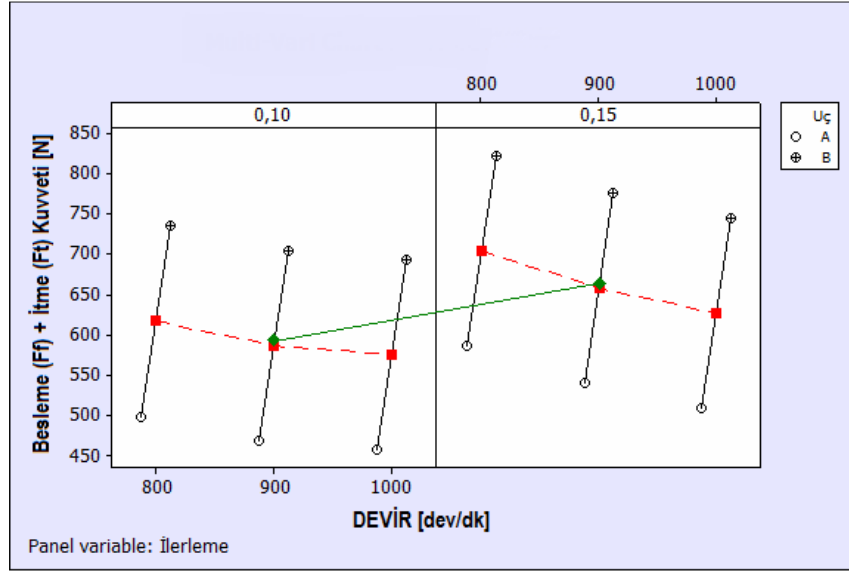
$S = 32,4512$   $R-Sq = 97,21\%$   $R-Sq(adj) = 94,65\%$

ANOVA tablosunun son satırındaki çıktı değeri olan P – değerinin %10'dan küçük değerleri kesme kuvveti üzerinde etkili olan faktörleri belirtmektedir. Bu durumda Uç - Devir - İlerleme kombinasyonunun beraber etkili olduğu, bunun yanında Devir - İlerleme ve Uç - İlerleme gibi ikili faktörlerinin de etkili olduğu görülmektedir. Ana faktörlerin (Uç, Devir ve İlerleme) kendi başına P-değerinin sıfır çıkmasının sebebi, kuvvet ölçüm deneylerinin 2 tekrarlı yapılmasıdır.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de yapılan istatistiki analize ait çoklu değişken grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.13. Kesme Kuvveti ( $F_c$ ) için çoklu değişken grafiği.



Şekil 4.14. Besleme ( $F_f$ ) + İtme Kuvveti ( $F_t$ ) için çoklu değişken grafiği.

Çoklu değişken grafikleri incelendiğinde, ilerleme tek başına arttırıldığında maksimum kesme kuvvetlerinin arttığı, devir tek başına arttırıldığından ise maksimum kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Sadece talaş formu geometrisinin farklı olduğu A ve B uçlarının testlerinde, aynı devir ve ilerleme değerlerinde yapılan bütün testlere bakıldığında, A ucunun B ucuna göre daha az kuvvetle kesme yaptığı görülmektedir.

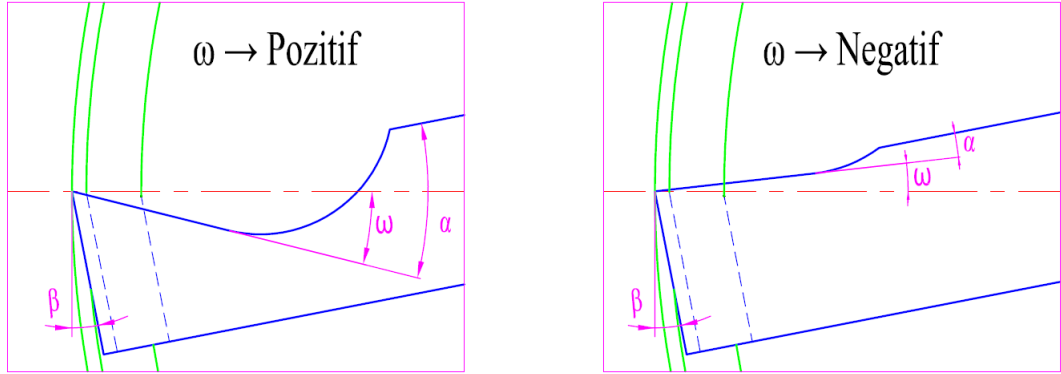
Ortalama olarak B ucu, A ucuna göre; Kesme Kuvvetinde ( $F_c$ ) %18, İtme ve Besleme Kuvvetlerinin toplamında ise %48 oranında fazla kuvvet verdiği görülmüştür. Talaş formu kaynaklı bu sapmanın sebebi araştırılmıştır. Bu kapsamda, Talaş Açısı ( $\alpha$ ) ve Eksenel Talaş Açısı ( $\gamma$ ) ve kater açıları incelendiğinde Çizelge 4.9 karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 4.9. Efektif talaş açısı değerleri.

		Talaş Açısı	Eksenel Talaş Açısı	Kater Eğim Açısı	Efektif Talaş Açısı
		$\alpha$	$\gamma$	$\beta$	$\omega = \alpha - \beta$
UÇLAR	A	14°	5,3°	10°	4°
	B	6,2°	6,8°	11°	- 4,8°

Efektif Talaş Açısı ( $\omega$ ), Kater Eğim Açısı ( $\beta$ ) ile Talaş Açısının ( $\alpha$ ) kombinasyonu oluşmaktadır. Aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\omega = \alpha - \beta \quad (4.1)$$



Şekil 4.15. Efektif talaş açıları ( $\omega$ ) (pozitif ve negatif).

Şekil 4.15’de Efektif Talaş Açısını tanımlayan çizim incelendiğinde,  $\alpha$  ve  $\beta$  açılarının değerlerine göre Efektif talaş açısı negatif veya pozitif olabilmektedir. Çizelge 4.9.’da A ve B açılarına ait Efektif Talaş Açıları incelendiğinde; A ucu için pozitif 4° iken B ucu için bu değer negatif 4,8° olarak hesaplanmaktadır. Efektif Talaş Açısında görülen bu farkın, kesme kuvvetinde oluşan sapmanın kaynağı olduğu düşünülmektedir [15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23].

## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Form-Tornalamada kullanılan profilli kesici takımları hedef alan bu çalışma, genel itibariyle bakıldığında iki bağımsız çalışmadan oluşmaktadır. Öncelikle 3. bölümde bahsedilen uçların profil tasarım prensibi çıkarılmış, 4. bölümde değişken talaş formlarına göre uç profili tasarlanmış ve deneysel olarak karşılaştırması yapılmıştır.

3. bölümde sıfırdan form uç tasarım prensibi oluşturulmuştur. Teorik olarak form-uçların profilini şekil olarak belirleyen parametre iş parçası üzerinde oluşturacağı profildir. İş parçası profilinin (işlenecek hedef profil) tersi olan profil, uç profilini oluşturmaktadır, fakat 3. bölümde detaylı olarak anlatılan proses parametrelerinden dolayı takım profil ölçülerinde bazı küçük düzeltmeler yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Tasarım prensibi olarak ortaya koyulan çalışma, form-takım üzerinde yapılacak bu düzeltmelerin miktarını belirlemektedir. Tamamen bu çalışmaya özgü çıkarılan parametrik formüller sayesinde, hiçbir proses parametresi atlanmamış olup tüm geometrik değişkenlere uyumlu bir tasarım prensibi geliştirilmiştir.

İncelenen kapak yuvası operasyonunda, talaşın yönlenmesi gerekli olduğundan eğik kesme modeli tercih edilmektedir. Eğik kesme modelinde kesme kenarına verilen açı sebebiyle form-uç ölçülerinde 4. Aşamada anlatılan profil döndürme açısı ( $\theta$ ) olarak adlandırdığımız agresif düzeltmeler devreye girmektedir. Profil döndürme açısının ( $\theta$ ) parametrik olarak hesaplanabilmesi, oluşturulan tasarım prensibinin literatürdeki ve endüstrideki diğer çalışmalardan ayıran nokta olmuştur. Bu sayede deneme yanılma safhasını ortadan kaldırarak tek seferde doğru profil tasarımı yapılabilmektedir. Ayrıca, yapılan çalışma parametrik olduğundan ileride olabilecek muhtemel proses değişikliklerine hızlı ve hatasız bir şekilde uyum sağlanabilecektir.

4. bölümde ise farklı talaş geometrilerinin ömre etkisi araştırılmıştır. Pilot bir rulman tipi seçilerek aynı operasyon için iki farklı talaş formu uçlar test edilmiştir. Uçların işleyeceği hedef profil aynı olmasına rağmen, talaş formları ve kater açıları farklı olduğundan, uç profillerinde de bir miktar düzeltme yapılmıştır (Şekil 4.2). Bu düzeltme 3. bölümde oluşturulan parametrik formüller yardımıyla yapılmıştır. Nihayetinde profil ölçülerinde düzeltme yapılan iki farklı talaş formuna sahip uçlar iş

parçası üzerinde aynı hedef profili (6203 Dış Bilezik Kapak Yuvası Profili) işleyebildiğinden ömür testleri yapılabilmektedir.

Yapılan ömür testleri karşılaştırıldığında A ucu B ucuna göre daha fazla ömür vermiştir. Ömür testinden alınan sonuçlara göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır;

- Efektif Talaş Açısı ( $\omega$ ) pozitif yönde ve daha büyük olan talaş formları daha az kuvvete maruz kalmaktadır ve daha yüksek ömür vermektedir. (Bkz. Çizelge 4.5, Çizelge 4.9).
- Gözlemlenen talaş tahliyesi sonuçlarına göre A ucunun talaşı üzerinden uzaklaştırma kabiliyeti B ucundan daha iyidir. Çizelge 4.9'a göre B ucunun eksenel talaş açısı yaklaşık  $1^\circ$  fazla olmasına rağmen yönlendirme kabiliyeti zayıf kalmıştır. Talaş yönlendirme kabiliyetinin sadece Eksenel Talaş Açısına ( $\gamma$ ) bağlı olmadığı, Talaş Açısıyla ( $\alpha$ ) beraber etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumda pozitif yöndeki Efektif Talaş Açısının ( $\omega$ ) talaşı yönlendirmede daha başarılı olduğu kanısına varılmıştır.
- Kesme kuvvetine uç, devir ve ilerleme parametrelerinin birlikte etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.8).
- İş parçası devrinin artmasıyla kesme kuvvetinin düştüğü, ilerleme değerinin artmasıyla kesme kuvvetinin yükseldiği görülmüştür (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).

## 6. İLERİYE YÖNELİK YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, öncelikli olarak form-uç tasarım prensibi geliştirmeye odaklanmıştır. Stratejik bir konu olan form-uç üretiminde doğru profil tasarımının nasıl yapılacağı, hangi değişkenlerin iş parçası profiline nasıl etki edeceği konusunda ülkemize kazandırılan önemli bir kaynak olmuştur.

Bu çalışmada değişen talaş formu geometrisinin, uç ömürlerine ne kadar etki edebileceği 2 farklı talaş formunun test edilmesi ile ispatlanmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda optimum talaş formu geometrisinin tespiti konusunda çalışılmalıdır. Farklı Talaş Açıları ( $\alpha$ ) ve Eksenel Talaş Açıları ( $\gamma$ ) kombinasyonları test edilerek talaş yönlendirmeye en uygun ve en az kesme kuvvetlerine maruz kalacak talaş formu geometrisi bulunmalıdır. Aynı zamanda mekanistik modellerden faydalanılarak deneysel çalışmalar teorik hesaplarla doğrulanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] “Modern Machine Shop” erişim adresi: <http://www.mmsonline.com>, erişim tarihi: 20 Ekim 2013.
- [2] “TTN-Tateno Kesici Takımlar” erişim adresi: <http://www.ttn-tateno.com>, erişim tarihi: 26 Temmuz 2014.
- [3] “Bernell Tool Manufacturers” erişim adresi: <http://www.bernelltool.com>, erişim tarihi: 26 Temmuz 2014.
- [4] M. Milutinovic, Design Methodology of Prismatic Form Tool for Lathe, Ljubodrag Tanovic Mechanical Engineering Faculty University of Belgrade, Serbia, Mech. Engineering Series 56, pp. 201-208, 2009.
- [5] Daniel B. Dallas, Tool & Manufacturing Engineers Handbook, 3th Edition., *McGraw Hill*, 1976.
- [6] Altıntaş Y., Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design, Cambridge, *Cambridge University Press*, 2000.
- [7] Mikell P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing; Material, Processes and Systems 3th Edition, *John Wiley*, 2007 .
- [8] J T Black, Ronald A., Kohser, DeGarmo’s Materials & Processes in Manufacturing 10th Edition, *John Wiley*, 2007.
- [9] N. Fang, An Improved Model for Oblique Cutting and its Application to Chip-Control Research, *Journal of Materials Processing Technology*, 79 (1998) 79-85.
- [10] N. Fang, Influence of the Geometrical Parameters of the Chip Groove on Chip Breaking Performance Using New-Style Chip Formers, *Journal of Materials Processing Technology*, 74 (1998) 268-275.
- [11] Umer, U., Qudeiri, J.A., Hussein, H.A.M., Khan, A.A., Al-Ahmari, A.R., Multi-Objective Optimization of Oblique Turning Operations Using Finite Element Model and Genetic Algorithm, (2014) *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71 (1-4), pp. 593-603.
- [12] R. Komanduri, M. Lee, L.M. Raff, The significance of normal rake in oblique machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 44, Issue 10, August 2004, Pages 1115-1124.

- [13] Kalpakijan, S., Schmid, S., *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th ed., *Prentice Hall*, Jurong, Singapore, 2008.
- [14] Stephen P. Radzevich, A novel method for mathematical modeling of a form-cutting-tool of the optimum design, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 31, Issue 12, December 2007, Pages 2639-2654.
- [15] M. Gunay, İ. Korkut, E. Aslan, U. Şeker, Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force , *Journal of Materials Processing Technology*, 166 (2005), Pages 44–49.
- [16] M. Gunay, İ. Korkut, E. Aslan, U. Şeker, Investigation of the effect of rake angle on main cutting force, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 44, Issue 9, July 2004, Pages 953-959.
- [17] Ship-Peng Lo, An Analysis of Cutting Under Different Rake Angles Using Finite Element Method, *Journal of Materials Processing Technology*, 105 (2000) 143-151.
- [18] Saglam H, Yaldiz S., and Unsacar F., The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature, *Materials & design* 28.1 (2007): 101-111.
- [19] Saglam H, Yaldiz S., and Unsacar F., Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 46, Issue 2, February 2006, Pages 132-141.
- [20] Lalwani, D. I., N. K. Mehta, P. K. Jain, Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel, *Journal of materials processing technology* 206.1 (2008): 167-179.
- [21] Nalbant, M, Altın A, Gökkaya H., The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys, *Materials & design* 28.4 (2007): 1334-1338.
- [22] Albert J. Shih, Finite element analysis of the rake angle effects in orthogonal metal cutting, *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 38, Issue 1, January 1995, Pages 1-17.
- [23] Sulaiman, S., Roshan, A., Ariffin, M.K.A., Finite Element Modelling of the effect of tool rake angle on tool temperature and cutting force during high speed machining of AISI 4340 steel, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2013, 50 (1), art. no. 012040.



- [24] E.J.A. Armarego, A.B. Herath, Predictive Models for Machining with Multi-Edge Form Tools Based on a Generalised Cutting Approach, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 49, Issue 1, 2000, Pages 25-30.
- [25] Stahlschlüssel – Key to Steel, 2010.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BİRCAN, Osman Murat  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 12.01.1987 Polatlı  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (505) 250 91 00  
Faks :  
e-mail : [osmanmuratbircan@gmail.com](mailto:osmanmuratbircan@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İTÜ / Makina	2011
Y. Lisans	TOBB ETÜ / Makina	2014

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
3	Orta Doğu Rulman Sanayi A.Ş.	Kesici Takım Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- Bircan, O.M, Guler, M.A., Karpaz Y., “An Analytical Approach to Design Accurate Profile of the Form-Turning Inserts”, *7th International Advanced Technologies Symposium*, 30 Ekim-1 Kasım 2013, İstanbul, Türkiye.