

**FORM UÇLARIN KESME
PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE
NÜMERİK YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

M.Ömer KAYKI

**FORM UÇLARIN KESME PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE
NÜMERİK YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU**

M. Ömer KAYKI

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2019**

M. Ömer KAYKI tarafından hazırlanan “FORM UÇLARIN KESME PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE NÜMERİK YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/06/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL (KBÜ)

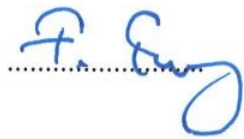


30.07/2019

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

M.Ömer KAYKI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FORM UÇLARIN KESME PERFORMANSLARININ DENEYSEL VE NÜMERİK YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU

M. Ömer KAYKI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Haziran 2019, 43 sayfa

Bu çalışmada, 100Cr6 çeliğinin form tornalama işleminde kullanılan üç farklı sermet kalitesine sahip kesici ucun kesme performansları araştırılmıştır. İlk aşamada, dik kesme yöntemine göre tornalama simülasyonları yapılarak kesme kuvvetleri ve kesici uç üzerinde oluşan gerilmeler incelenmiş ve en uygun talaş açıları belirlenmiştir. Daha sonra, 6205 kodlu rulman dış bileziği kapak yuvası formuna uygun üç farklı talaş açısına sahip kesici uçlar dizayn edilmiştir. Tasarlanan form uç geometrisi, üç farklı honlama süresi kullanılarak üç farklı sermet kesici takım kalitesi üzerine uygulanmıştır. Elde edilen form uçlar ile tek milli torna tezgahında kesici takım ömür deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, kesici uç ömrüne etki eden en önemli faktörlerin sırasıyla talaş açısı, uç kalitesi ve honlama süresi olduğu tespit edilmiştir. Kesici takım ömrü için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda, TN90 kalite uç, 4° talaş açısı ve 7 dakika

honlama süresi ile maksimum kesici takım ömrünün elde edilebileceği tespit edilmiştir.



Anahtar Sözcükler : Rulman bileziği, sonlu elemanlar yöntemi, form uçlar, talaş açısı, optimizasyon.

Bilim Kodu : 914.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF CUTTING PERFORMANCE OF FORM INSERTS WITH EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS

M.Ömer KAYKI

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

June 2019, 43 Pages

In this study, the cutting performance of three different cermet grade inserts used in form turning process of 100Cr6 steel were investigated. In the first step, the cutting forces and the stresses on the cutting edge were examined by turning simulations according to the vertical cutting method and the optimum rake angles were determined. Then, the cutting inserts with three different rake angles are designed in accordance with the bearing outer ring cover sleeve with code 6205. The designed form insert geometry was applied on three different cermet cutting tool qualities using three different honing times. With the obtained form inserts, cutting tool life tests were performed on single spindle lathe and the results were analyzed. As a result of the analyzes, it was found that the most important factors affecting the cutting tool life were rake angle, insert quality and honing time, respectively. As a result of the optimization study for cutting tool life, it was determined that maximum cutting tool life can be achieved with TN90 quality insert, 4 ° chip angle and 7 minutes honing time.

Key Word : Bearing ring, finite element method, form inserts, rake angle,
optimization

Science Code : 914.3.028



TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile bu tez çalışmasına desteğini esirgemeyen değerli tez Hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında engin bilgi ve deneyimlerini paylaştan Ortadoğu Rulman Sanayi Ticaret A.Ő.'den Sn. Feridun ÖZHAN, Sn. Turhan SAVAŐ, Sn. Yusuf ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, deneysel çalışmalarda emeği geçen Ortadoğu Rulman Sanayi Ticaret A.Ő.'den mesai arkadaşlarım Sn. Ali KEVRAN, Sn. Ergun MUTLU, Sn. Ercan GÜLEÇ, Sn. Suri GÜRLEK ve ORS çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tezin ortaya çıkmasında desteklerini yanımda hissetiğim, Doç.Dr. Okan ÜNAL, Dr. Öğr. Üyesi Kerim ÖZBEYAZ, Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KOCABAŐ ve Dr. Öğr. Üyesi Nurullah KAYACI'ya teşekkür ederim.

Maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme ve eşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	2
2.2. METAL KESME SİMÜLASYONLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.3. RULMAN BİLEZİKLERİNİN TORNALANMASI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	6
BÖLÜM 3	7
TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ	7
3.1. GİRİŞ.....	7
3.2. METAL KESME MEKANİĞİ	8
3.2.1. Kesme Kuvvetleri	9
3.2.2. Kesici Takım.....	10
3.2.2.1. Kesici Takım Geometrisi	10
3.2.2.2 Kesici Takım Malzemeleri.....	10
3.3. FORM UÇLAR	13
3.3.1. Form Uçların Tasarımı	13

3.3.2. Form Uçların Taşlanması	15
BÖLÜM 4	16
MATERYAL VE YÖNTEM	16
4.1. GİRİŞ.....	16
4.2. METAL KESME SİMULASYONLARI	16
4.2.1. Johnson-Cook Malzeme Modeli.....	17
4.3. FORM UÇLARIN ÜRETİMİ	19
4.3.1. Form Uçların Taşlanması	20
4.3.2. Form Uçlarda Kesme Kenarının Hazırlanması.....	23
4.4. DENEY TASARIMI	24
4.5. KESİCİ UÇ ÖMÜR TESTLERİ	25
BÖLÜM 5	28
DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI	28
5.1. KESME SİMÜLASYONLARI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	28
5.2. FORM TORNALAMA DENEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	32
5.3. FORM TORNALAMA İÇİN OPTİMİZASYON	36
BÖLÜM 6	38
SONUÇ VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Dik kesme modeli	8
Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri	9
Şekil 3.3. Kesme kuvvetleri	9
Şekil 3.4. Torna takımlarında bulunan kesme ve boşluk açıları	10
Şekil 3.5. Rulman bileziği 3 boyutlu modeli.....	13
Şekil 3.6. Kater katı modeli.....	14
Şekil 3.7. Talaş açısı formlu ham uç	14
Şekil 3.8. İşparçası,kesici takım ve kater montajı	14
Şekil 4.1. 6205 Dış bilezik kapak yuvası teknik resmi	19
Şekil 4.2. Solidworks montaj modülü ile uç tasarımı	20
Şekil 4.3. Ham uçların form taşlama için aparata bağlanması.....	21
Şekil 4.4. Uçların talaş açısı taşlama için aparata bağlanması.....	22
Şekil 4.5. Uç taşlama aşamaları	22
Şekil 4.6. Gerber kesme kenarı hazırlama tezgahı	23
Şekil 4.7. Kesme kenarının honlama öncesi ve sonrası SEM görüntüsü.....	24
Şekil 4.8. Shinban Tekmilli torna tezgahı	25
Şekil 4.9. Kater ve uç fotoğrafı	27
Şekil 4.10. Kontur tarama cihazı.....	27
Şekil 5.1. Kesme kuvvetlerinin talaş açısına göre değişimi.....	29
Şekil 5.2. Uç üzerinde oluşan Von-Misses gerilmeleri.....	30
Şekil 5.3. Kesme bölgesi sıcaklıklarının talaş açısına göre değişimi.....	31
Şekil 5.4. 2° talaş açısı için kesici uç ömrü,kalite ve honlama süresi grafiği.	312
Şekil 5.5. 4° talaş açısı için kesici uç ömrü,kalite ve honlama süresi grafiği.	313
Şekil 5.6. 6° talaş açısı için kesici uç ömrü,kalite ve honlama süresi grafiği.	313
Şekil 5.7. Parametrelerin uç ömrüne etkileri.....	314
Şekil 5.8. Uç ömrü için ana etki grafiği.	315
Şekil 5.9. İşleme parametrelerine göre optimizasyon sonucu.....	317

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Metal kesme simülasyonlarında kullanılan talaş açıları ve işleme parametreleri	18
Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan J-C parametreleri.	18
Çizelge 4.3. Kesici uç geometri ve kaliteleri.	20
Çizelge 4.4. Form taşlama aşamaları ve kullanılan taşlar.	21
Çizelge 4.5. Parametre ve seviyeleri.	25
Çizelge 4.6. Deney tasarımı	256

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Rulman üretimindeki en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biri olan tornalama operasyonunda harcanan zamanın en aza indirgenmesi için form uçlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sayede rulman bileziği üzerinde istenilen form, tek eksendeki hareket ile elde edilebilmektedir. Ancak, işlem süresinde büyük tasarruf sağlayan form uçlarda oluşan kırıklar, hurda parça sayısında artışlara neden olmaktadır. Bu tez kapsamında yapılacak çalışmalar ile rulman üretiminde kullanılan form uçlarında yaşanan kırılmaların minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede rulman üretiminde uç kırığı nedeni ile ortaya çıkan hurda sayısının azaltılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda:

- Metal Kesme simülasyonları vasıtasıyla rulman bileziklerinin form uçlar ile tornalanması için en uygun talaş açısının tespit edilmesi,
- Farklı sermet kalitelerinden üretilmiş ham uçların taşlanması,
- Belirlenen malzeme, talaş açıları ve honlama süresine göre deney tasarımı yapılması,
- 100Cr6 malzemedan üretilmiş rulman bileziklerin form tornalama operasyonunda gerçekleştirilen uç ömür testleri,
- Deney tasarımının analiz edilmesi ve form uçlar için en uygun talaş açısı ve honlama süresinin tespiti amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Astakhov ve Osman, yaptıkları çalışmada metal kesme işleminin daha iyi anlaşılması amacıyla işleme parametreleri arasında temel ilişkileri kurmak ve bu ilişkilere dayanarak, optimum kesme hızını belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmalar sonucunda kesme hızı ile kesme kuvveti arasındaki ve kesme hızı ile takım ömrü arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır [1].

Arsecularatne vd., geliştirdikleri dik kesme teorisini kullanarak yuvarlak uçlu takımların eğik tornalama esnasındaki ömrünü belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda, kesme bölgesinde oluşan sıcaklıkları tahmin edebilmek için kesme teorilerini kullanarak matematiksel formüller geliştirmişlerdir [2].

Xie vd., tornalama esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğün tahmininde kullanılacak bir model oluşturmuşlardır. Deneysel ve istatistiksel çalışmaların sonucunda yüzey pürüzlülük değeri ve kesme kuvvetinin işleme parametrelerine bağlı bir fonksiyon olarak tanımlandığı model elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel modelin doğrulanması için gerçekleştirilen denemeler sonucunda oluşturulan modellerin %96-%98 arasında doğruluğa sahip olduğu tespit edilmiştir [3].

Günay vd., talaş açısının kesme kuvvetine olan etkisini incelemiştir. AISI 1040 malzemenin tornalanmasında kesme kuvvetlerini ölçmek üzere bir dinamometre tasarlanmış ve üretilmiştir. Kienzle yaklaşımı ile elde edilmiş ampirik formül ile hesaplanan kesme kuvvetleri ve tornalama deneyleri ile ölçülen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, talaş açısı değerinin pozitif yönde artışı ile esas kesme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir [4].

Choudhury vd., pahlı takımların kesintili ve sürekli tornalama esnasındaki performansını incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda kesme hızındaki artışın pahlı takım ile gerçekleştirilen tornalama esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetini etkilemediğini, ancak pah genişliğindeki artışın kesme kuvvetinde artışa neden olduğu tespit edilmiştir [5].

Sağlam vd., talaş ve yavaşma açısının kesme kuvvetine ve takım uç sıcaklığına olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, 40 HRc sertlikteki AISI 1040 çeliğinin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti ve Kienzle yaklaşımı ile hesaplanan kesme kuvveti arasında karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda, ölçülen ve hesaplanan kesme kuvvetleri arasındaki hata payı %0,37 iken, hesaplanan ve ölçülen sıcaklıklar arasındaki farkın %42 olduğu bulunmuştur. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucunda en uygun yavaşma ve talaş açısı sırasıyla 75° ve 12° olarak belirlenmiştir [6].

Luo vd., karbür uçlar ile tornalama esnasında oluşan takım yanak aşınması ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi ele almışlardır. Takım aşınmasının kesme parametrelerinin ampirik bir fonksiyonu olarak modellendiği çalışmada, düşük karbonlu çeliğin tornalaması sonucu ortaya çıkan aşınmalar ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda elde edilen matematiksel model ile tahmin edilen aşınma miktarı ve deneysel sonuçlar yardımı ile ölçülen aşınmalar arasındaki farklılığın kabul edilebilir seviyelerde olduğu sonucuna varılmıştır [7].

Ebrahimi and Moshksar, aynı sertlikteki mikro alaşımlı çelik ve ısıl işlem görmüş alaşımlı çeliklerin işlenebilirliği konusunda çalışmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, kesici takımlardaki yan yüzey aşınmaları taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. İncelemeler sonucunda mikro alaşımlı çeliğin, ısıl işlem görmüş alaşımlı çeliklere nazaran daha az aşınmaya neden olduğu belirlenmiştir [8].

Kaymakçı vd., tornalama, delik işleme, delik delme ve frezeleme işlemleri için kullanılacak bir kesme kuvveti modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan model kesici takımın tutucu üzerindeki konumunu baz almaktadır. Matematiksel modelin

doğrulanması için yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuvvetler ile hesaplanan kuvvetlerin birbirini yakınsadığı tespit edilmiştir [9].

Zhang and Guo, tornalama için kesme alanı dağılımlarını gösteren ve anlık efektif takım açısını, kesme kuvvetlerini, kuvvet yoğunluklarını ve dağılımlarını hesaplayan bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model sayesinde tornalama esnasında kesici kenardaki yük dağılımı kolaylıkla tespit edilebilmekte ve buna bağlı olarak tornalama esnasındaki takım ömrü optimize edilebilmektedir [10].

Bayraktar vd., döküm yöntemi ile üretilmiş Al-35Zn alaşımını TiAlN kaplamalı ve kaplamasız parmak frezeler ile dik işleme merkezinde işlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kaplamalı parmak frezenin kesme kenarında talaş yapışmasının görüldüğü ve kaplamasız parmak freze ile elde edilen yüzey kalitesinin TiAlN kaplamalı freze ile elde edilen yüzey kalitesine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir [11].

2.2. METAL KESME SİMÜLASYONLARI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Xie vd., sonlu eleman analizleri ve deneysel yöntemleri kullanarak metal kesme esnasında oluşan talaş oluşumunu incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, sonlu elemanlar simülasyonunda oluşan talaş ile deneyler esnasında oluşan talaş karşılaştırılmış ve sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi ile metal kesmenin başarılı bir şekilde modellenemediği tespit edilmiştir [12].

Shet and Deng, dik kesmeyi sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmada, takım ve talaş arasındaki etkileşim Coulomb sürtünme yasası ile modellenmiştir. Metal kesme simülasyonlarındaki eleman, belirlenen kritik gerilmeye ulaştığında ilgili düğüm silinerek talaş oluşumu simüle edilmiştir. Farklı talaş açıları ve sürtünme katsayıları ile gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda; gerinim, gerinim hızı ve gerilme bölgeleri belirlenmiştir. Çalışmalar sonucunda birincil ve ikincil kesme bölgelerinin varlığı sonlu elemanlar yöntemi ile ispatlanmıştır [13].

Cerretti vd., sonlu elemanlar yöntemini kullanarak tornalama işlemini 3 boyutlu olarak simüle etmişlerdir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar referans alınarak yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen kesme kuvvetleri ve talaş yapısının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda metal kesme simülasyonunun 3 boyutlu sonlu elemanlar modelleri ile yapılabileceği kanıtlanmıştır [14].

Liu and Guo, ardışık kesmenin ve takım ile talaş arasındaki sürtünmenin işlenen yüzeydeki kalıntı gerilmeye etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Viskoplastik malzeme modeli kullanarak gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri sonucunda kesme kuvvetleri, talaş geometrisi ve sıcaklığın ardışık kesme ile çok fazla değişikliğe uğramadığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, talaş ile takım arasındaki sürtünme kuvvetinin ve dolayısıyla ayırma çizgisinin kalıntı gerilme üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir [15].

Ning vd., ince cidarlı parçaların frezelenmesi esnasında oluşan deformasyonları sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Çalışmalar sonucunda, işleme deformasyonunun duvarların kalınlığı ile orantılı ve duvar yüksekliği boyunca deformasyonun neredeyse doğrusal olarak değiştiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, sonlu elemanlar metodu ile elde edilen deformasyonların gerçeğe çok yakın olduğu tespit edilmiştir [16].

Xie vd., sonlu elemanlar yöntemini kullandıkları çalışmalarında tornalama esnasında oluşan takım aşınmalarını incelemiştir. Nümerik analizler sonucunda kesici takım üzerinde oluşan sıcaklıklar, gerilmeler ve takım/talaş temas noktaları belirlenmiştir. Belirlenen bu bilgiler ışığında takım üzerinde oluşan aşınmayı modelleyen bir kod yazılmış ve bu kod sayesinde kesme analizlerinde takım aşınmasının simüle edilmesi sağlanmıştır. Simülasyonlar sonucu elde edilen aşınmalar deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır [17].

Jiang and Wang, farklı silici geometrisine sahip takımların AISI 4340 çeliğin sert tornalanmasındaki etkilerini sonlu eleman yöntemi ile araştırmışlardır. Arbitrary

Lagrangian–Eulerian yaklaşımına dayalı olarak yapılan kesme simülasyonlarında kesme kuvveti, kalıntı gerilme ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile desteklenen araştırmalarda, silici takımların talaş yüzeyinde sıcaklığın ve kesme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir [18].

2.3. RULMAN BİLEZİKLERİNİN TORNALANMASI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Matsumoto vd., çalışmalarında rulman bileziklerinin sert tornalanmasında oluşan kalıntı gerilmeleri araştırmışlardır. 62 HRc sertlikteki bileziklerin CBN uçlar ile tornalandığı çalışmada, sert tornalama esnasında oluşan kalıntı gerilmelerin rulman ömrünü artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sert tornalama esnasında kullanılan kesici takıma ait kesme kenarı geometrisinin kalıntı gerilme profiline etki eden en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir [19].

Brinksmeier vd., yaptıkları çalışmada rulman bileziklerinde bulunan form hataları ve ölçüsel dalgalanmaların sebeplerini araştırmışlardır. Çalışmalarında ısıl işlem öncesi yapılan tornalama işleminde kullanılan çenelerin rulman bileziklerinde form hatalarına sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca rulman bileziklerini işlerken kullanılan işleme parametrelerinin dairesellik konusunda etkili olduğu tespit edilmiştir [20].

Stoebener and Dijkman, rulman bileziklerinin tornalanması esnasında daireselliği en aza indirgeyen ultrasonik ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sensör sayesinde alınan ölçümlerin başarılı olduğu, bu sayede tornalama esnasındaki dairesellik değerinin kontrol edilebildiği gözlemlenmiştir [21].

Maiß vd., yaptıkları çalışmada rulman iç bileziklerine sert tornalama ve derin haddeleme uygulamışlardır. Bu sayede, proses zamanını kısaltmayı ve yüzey pürüzlüğü değerinin azalmasını sağlamışlardır. Makaralı rulmanların üretim proseslerinde yaptıkları denemeler sonucunda elde edilen kuvvetlerin sert işlemeye uygun torna tezgahları için kabul edilebilir seviyelerde olduğu tespit edilmiştir [22].

BÖLÜM 3

TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ

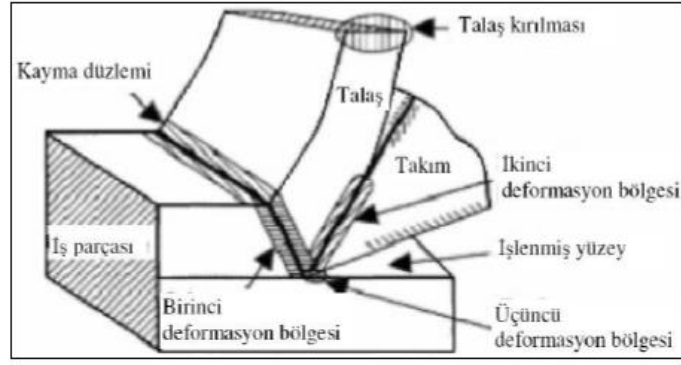
3.1. GİRİŞ

Talaşlı imalat, kontrollü bir malzeme eksiltme yöntemi ile bir iş parçasının istenen nihai şekil ve ebatla kesildiği çeşitli işleme yöntemlerinden birisidir [23]. Talaşlı imalat tornalama, frezeleme, delik delme, raybalama taşlama gibi geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilebileceği gibi “elektro erozyonla işleme, lazer ile işleme, su jeti ile işleme gibi geleneksel olmayan yöntemlerle de gerçekleştirilebilir [24].

Günümüzde birçok ürün geleneksel talaşlı imalat yöntemleri ile üretilmektedir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinde kesici takımın ve/veya iş parçasının birbirine göre hareketi sayesinde malzeme üzerinde gerilmeler oluşturulmaktadır. Bu gerilmeler sayesinde malzeme üzerinden talaş kaldırılabilir. Günümüzde en sık kullanılan talaş kaldırma yöntemleri tornalama, frezeleme ve delik delmedir.

Bir işleme sürecinin planlanmasında ekonomik hususlar oldukça önemlidir. Genel olarak, talaşlı imalat ekonomisi üç etkeni dikkate alır: bileşen başına üretim maliyeti (birim maliyet), bileşen başına üretim süresi ve kâr oranı [24]. Minimum üretim maliyetini elde edebilmek için talaşlı imalat yönteminin iş parçasına göre seçilmesi gerekmektedir.

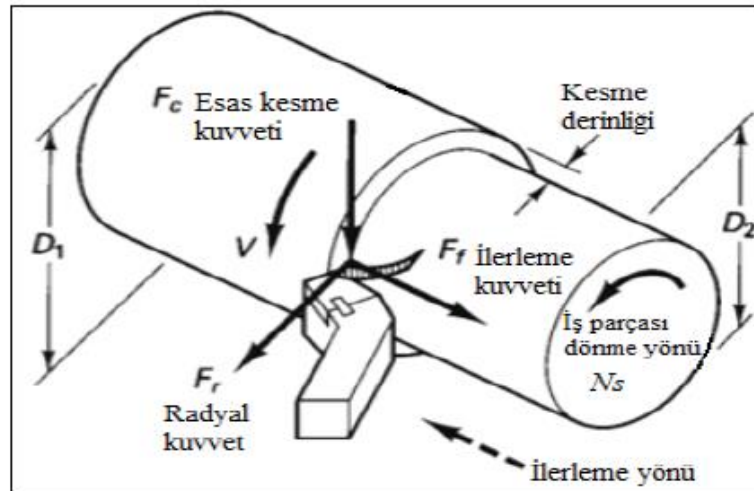
Tornalamada operasyonunda, silindirik şeklindeki dönen bir iş parçasından tek bir kesici kenarı olan bir takım ile talaş kaldırma işlemi uygulanır. Bu işlemde kesme gerinimi, iş parçasının bağlı olduğu tutucunun dönmesi ile sağlanır. Frezelemede operasyonunda, bir ya da birden fazla kesme kenarına sahip kesici takımın dönmesi ile ortaya çıkan gerinim sayesinde iş parçası üzerinden talaş kaldırılır. İki veya daha fazla kesme kenarına sahip dönen bir takım ile gerçekleştirilen delik delme operasyonunda ise takım üzerinde bulunan helisel yollar sayesinde talaş tahliyesi



Şekil 3.2. Plastik deformasyon bölgeleri [27].

3.2.1. Kesme Kuvvetleri

Metal kesme sırasında üç farklı yönde kesme kuvveti ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetler iş parçasının geometrik toleranslarından takım tezgahlarının elektrik tüketimine kadar birçok konuda büyük etkiye sahiptir. Tornalama esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerine etki eden temel parametreler; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği olarak sıralanabilir. Tornalama esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri Şekil 3.3'deki gibi gösterilebilir [27]. Tornalama esnasında iş parçasının dönüş yönünde oluşan kuvvet kesme kuvveti (F_c) olarak adlandırılırken, kesici takımın iş parçası üzerindeki hareketi yönünde oluşan kesme kuvveti ise ilerleme kuvveti (F_f) olarak isimlendirilmektedir. İş parçası eksenine dik yönde ortaya çıkan bir diğer kuvvet ise radyal kuvvet (F_r) olarak tanımlanmaktadır.

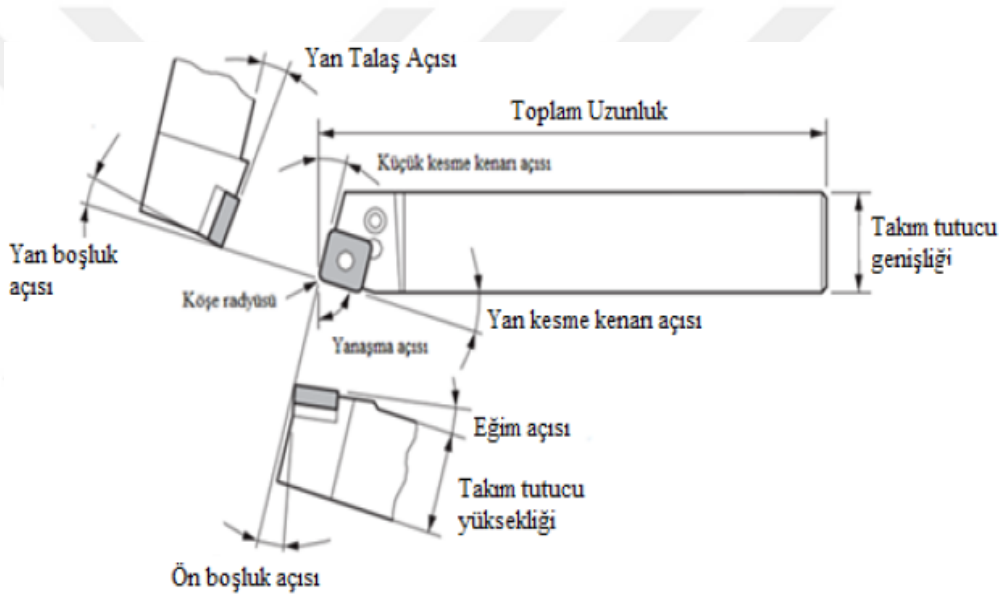


Şekil 3.3. Kesme kuvvetleri.

3.2.2. Kesici Takım

3.2.2.1. Kesici Takım Geometrisi

En sık kullanılan imalat yöntemi olan metal kesme işlemi kesici takımlar ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzde tek noktadan kesme gerçekleştiren ve çok noktalı kesme yapabilen birçok kesici takım bulunmaktadır. Tornalama operasyonları genellikle tek noktadan kesme yapan takımlar ile gerçekleştirilmektedir. Tornalama işlemi için kullanılan takıma ait boşluk ve kesme açıları Şekil 3.4’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4. Torna takımlarında bulunan kesme ve boşluk açıları [27].

3.2.2.2 Kesici Takım Malzemeleri

Günümüzün metal işleme endüstrisinde yüksek karbonlu çelikten seramik ve yapay elmasa kadar birçok kesici takım malzemesi kullanılmaktadır. Bir kesici takım malzemesi, iyi kalitede ve ekonomik parçalar üretmek için aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [28]:

Yüksek sertlik: Talaş kaldırma esnasında oluşan aşınmaya karşı direnç sağlar.

Yüksek basma direnci: Talaş oluşumu sırasında ortaya çıkan kuvvetler ve sıcaklıklar altında kesici kenarın plastik deformasyona uğramaması için gereklidir.

Yüksek kırılma tokluğu: Özellikle kesintili işlemlerde oluşan darbelere karşı karşı direnç sağlar.

Yüksek kimyasal kararlılık: İş parçası ve kesici takım arasında herhangi bir kimyasal etkileşim oluşmasını engeller.

Yüksek ısı iletkenliği: Talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların kesme kenarından uzaklaşmasını sağlar.

Yüksek yorulma direnci: Değişken mekanik yüklerin takım üzerinde deformasyonlara neden olmamasını sağlar.

Yüksek termal şok direnci: Talaş kaldırma esnasında oluşan değişken sıcaklıklara karşı direnç sağlar.

Günümüzde talaşlı imalat işlemleri için çok çeşitli takım malzemeleri mevcuttur. Kesici takım malzemesi olarak kullanılan başlıca malzemeler [29]:

Sementit karbürler: Sementit karbür, tungsten karbür partiküllerin kobalt (Co) bakımından zengin bir bağlayıcı ile birleştirildiği toz metalürjisi ile üretilen bir malzemedir. Metal kesme işlemi için kullanılan sementit karbürler, %80'den fazla sert fazlı tungsten karbürden oluşur. Sementit karbür gövdesi, toz presleme veya enjeksiyon kalıplama teknikleriyle basılır ve ardından sinterleme işlemine tabi tutulur.

Günümüzde, sementit karbür kesici takımlar kaplamalı kullanıldığı gibi kaplamasız olarak da kullanılabilir.

Sermetler: Sermet, titanyum bazlı sert parçacıklara sahip sementit bir karbittir. Sermet adı seramik ve metal kelimelerini birleşmesi ile ortaya çıkmıştır. Geçmişte,

bir titanyum karbür ve nikel bileşiği olarak üretilmekte olan sermetler, günümüzde nikel içermemektedir. Üretilen sermetler genellikle titanyum karbonitrid parçacıklarına ve tungsten bakımından zengin bir kobalt bağlayıcıya sahiptir.

Semente karbür ile karşılaştırıldığında sermetlerin, daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülür. Öte yandan, basınç ve termal şok dayanımları semente karbürlere göre daha düşüktür.

Kübik Bor Nitrür: Çok kristalli kübik bor nitrür, CBN, çok yüksek kesme hızlarında kullanılabilen mükemmel sertliğe sahip bir kesici takım malzemesidir. Aynı zamanda iyi tokluk ve termal şok direnci gösterir. Günümüzde üretilen CBN kesici takımlar, CBN içeriği %40-65 olan seramik kompozitlerdir. Seramik bağlayıcı, kimyasal aşınma dayanımı düşük olan olan CBN'ye aşınma direnci ekler.

Seramikler: Tüm seramik kesici takımlar, yüksek kesme hızlarında mükemmel aşınma direncine sahiptir. Uygulamaya özel çeşitli seramik kaliteleri mevcuttur. Bunlardan birincisi alüminyum oksit bazlı oksit seramiklerdir. Bu tarz seramikler kimyasal olarak kararlı ancak düşük termal şok direncine sahiptir. İkinci olarak karışık seramikler, kübik karbür veya karbonitridlerin (TiC, TiCN)) ilavesiyle takviye edilmiştir. Bu takviyeler sayesinde kesici takımın tokluğu ve termal iletkenliği artar. Üçüncü olarak elyaf takviyeli seramikler, sertliği önemli ölçüde artırmak ve soğutma sıvısı kullanımını sağlamak için silisyum karbür lifleri (SiCw) kullanılır.

Yüksek Hız Çeliği: Yüksek hızlı çelikleri, yüksek aşınma direnci, yüksek sertliğe sahip çelikler olması nedeni ile kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çeliği (HSS) kesici takımları, M-1, M-2, M-4, M-48 ve T-15 gibi yüksek hız çeliklerinden yapılır. HSS Kesme takımları, çok çeşitli kesme ve şekillendirme işlemlerini gerçekleştirmek için birçok şekil ve ebatla bulunabilir. HSS kesici takımlar, çelikten blok veya çubuklardan talaş kaldırılması ile üretilmektedir. Talaş kaldırma işleminin ardından sertleştirilir ve HRC 62-68'e göre temperlenir [29].

3.3. FORM UÇLAR

İşlem süresinin büyük önem arz ettiği ve/veya standart kesici takımlar ile elde edilmesi imkânsız olan formların üretilmesinde özel formlu kesici takımlar günümüz talaşlı imalat endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Form uçlar ile tornalama esnasında iş parçası üzerinde elde edilmek istenen geometrik şekil ve ölçüler, kesici uç üzerinde bulunan form sayesinde elde edilmektedir.

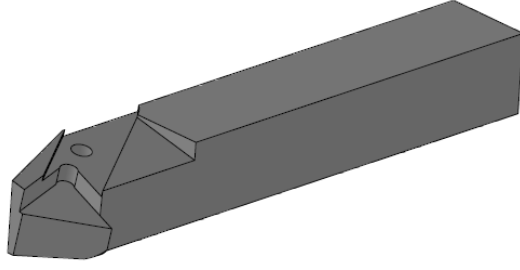
3.3.1. Form Uçların Tasarımı

Form uç ile gerçekleştirilen tornalama sonucu istenen ölçüleri elde edebilmek için form ucun iş parçasına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Günümüzde üç boyutlu katı modelleme programları kullanılarak bu tarz uçlar kolaylıkla tasarlanabilmektedir. Katı modelleme programı ile form uç tasarımı 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada tornalama sonucu elde edilmek istenen iş parçasının modellenmesi gerekmektedir (Şekil 3.5).



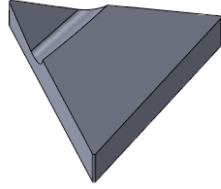
Şekil 3.5. Rulman bileziğine ait 3 boyutlu model.

Form uç tasarlamının ikinci aşamasında kesici takımın bağlanacağı takım tutucunun katı modelinin oluşturulması gerekmektedir. Takım tutucuda bulunan açılar form uç ölçülerini direk olarak etkilemektedir (Şekil 3.6).



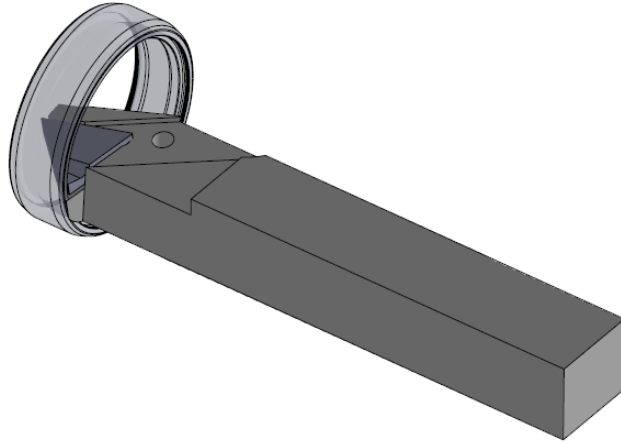
Şekil 3.6. Kater katı modeli.

Tasarımın üçüncü aşamasında talaş açısı formuna sahip ham uç katı modelinin oluşturulması gerekmektedir. Takım tutucuda bulunan açılar gibi ham uç üzerinde bulunan talaş açısı da form uç ölçülerini doğrudan etkilemektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Talaş açısı formuna sahip ham uç.

Form uç tasarlamamanın dördüncü ve son aşamasında takım tutucu, talaş açısına sahip ham uç ve iş parçası katı modelleme programının montaj ara yüzüne aktarılır (Şekil 3.8). Montaj ara yüzünde iş parçası üzerinde işlenmek istenen form ve ham uç kesiştirilerek uygun form uç dizaynının elde edilmesi sağlanır.



Şekil 3.8. İş parçası, kesici takım ve kater montajı.

3.3.2. Form Uçların Taşlanması

Yüksek aşınma direncine sahip kesici takımlar üzerinde istenen formların elde edilebilmesi için ham uçların profil taşlama tezgahlarında taşlama operasyonuna tabi tutulması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen bütün uç taşlama operasyonları için WAIDA SPG-W tezgahları kullanılmıştır. Bu bağlamda, profil projeksiyona sahip bu tezgahlarda taşlama yapabilmek için ışık geçirgenliğine sahip bir kart üzerine istenen formun 50:1 oranında çıktısı alınarak yapıştırılmalıdır.

Diğer yandan, sermet malzemedan üretilen uçların taşlama işlemi için elmas aşındırıcı metalik veya resin bağlayıcı taşlar kullanılmaktadır. Taşlama esnasında ortaya çıkan yüksek ısının taş ve/veya iş parçasına zarar vermesini önlemek için soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Ayrıca toz metalurjisi ile üretilmiş uçların taşlanması esnasında ortaya çıkan partiküller soğutma sıvısı yardımı ile kesme bölgesinden uzaklaştırılmakta ve böylece kesici takımdan koparılan tozların uçlarda hasara yol açması önlenmektedir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada yapılması planlanan ve gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda sırasıyla özetlenmiştir:

- Metal kesme simülasyonları vasıtasıyla rulman bileziklerinin form uçlar ile tornalanması için en uygun talaş açısının tespit edilmesi,
- Farklı sermet kalitelerinden imal edilen ham uçların taşlanarak form kesici uçlara dönüştürülmesi,
- Belirlenen malzeme ve talaş açılarına göre deney tasarımı yapılması,
- 100Cr6 malzemedен üretilmiş rulman bilezikleri üzerinde form tornalama operasyonu ile kesici uç ömür testlerinin gerçekleştirilmesi.

4.2. METAL KESME SİMULASYONLARI

Metal kesme sırasında ortaya çıkan kuvvetler kesici takım ve iş parçası üzerinde titreşim, mekanik ve ısı gerilmeler, aşınma, plastik deformasyon gibi birçok oluşuma neden olmaktadır. Bundan dolayı, tornalama, frezleme, delme vb. metal kesme işleminde oluşan işleme çıktılarının tespiti büyük önem arz etmektedir. Günümüzde, sonlu elemanlar yöntemine dayalı nümerik analizlerde kullanılan yazılımların birçoğu ile metal kesme esnasında ortaya çıkan kesme kuvveti, gerilme, gerinim, sıcaklık gibi işleme çıktılarını tespit edebilmek mümkündür. Bu nedenle gerek kesici takım üreten firmalar gerekse talaşlı imalat yapan firmalar tarafından bu yazılımlar sıklıkla kullanılarak metal kesme işlemleri simüle edilebilmektedir.

Metal kesme simülasyonunu karmaşıklaştıran en önemli faktör malzeme modelidir. Simülasyonlarda kullanılacak olan model, malzemenin yüksek sıcaklık, yüksek gerinim ve yüksek gerinim hızlarındaki davranışlarına uygun olmalıdır [30]. Bu bağlamda, viskoplastite teorisi, zamana bağlı, plastik gerinimlerdeki malzemelerin mekanik tepkisini ifade eder. Temelde tüm metallerin deformasyonu, bir dereceye kadar zamana bağlıdır. Bununla birlikte, bu bağımlılık, maddenin erime noktasının üçte birini aşan sıcaklıklarda daha belirgin hale gelir [31].

Viskoplastite teorisine göre oluşturulmuş birçok malzeme modeli bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar Johnson-Cook malzeme modelinin metal kesme simülasyonlarına en uygun malzeme modeli olduğunu göstermektedir [32].

4.2.1. Johnson-Cook Malzeme Modeli

Johnson ve Cook (J-C) 1983 yılında yaptıkları çalışmada büyük deformasyonlara, yüksek gerinim hızlarına maruz kalan metallerin davranışını ele alan bir malzeme modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen malzeme modeline göre Von Mises gerilmesi (σ) aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmiştir.

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n)(1 + C \ln \varepsilon')(1 - \left(\frac{T-T_0}{T_m-T_0}\right)^m) \quad (4.1)$$

Bu denklemde; A, malzemenin akma noktasındaki gerilme (σ_y), B, gerilme sertleşme katsayısı, n, gerilme üssü, T_m değeri malzemenin erime sıcaklığını, T_0 , bir referans sıcaklığı, m, sıcaklık katsayısı, ε' , gerinme hızı ve C, gerinme hızı katsayısını ifade etmektedir [33].

J-C malzeme modelindeki parametrelerin tespiti için çok farklı yöntemler izlenmektedir. A, B, n ve m parametreleri çekme ve sıcak basma testleri kullanılarak tespit edilir. Gerinme hızı katsayısı olan C parametresini tespit edebilmek için yüksek gerinim hızlarında (10^5 s^{-1}) testler yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, SHB (Split-Hopkinson Bar) testi yaygın olarak kullanılsa da literatürde metal kesme analizleri ile C parametresinin tespit edildiği birçok çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ilk olarak 100Cr6 malzemeden üretilen rulman bileziğinin form tornalama işleminde kullanılan kesici takım geometrisi optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, altı farklı talaş açısı değerine sahip sermet kalite kesici uç ile gerçekleştirilen tornalama operasyonlarında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin ve buna bağlı olarak kesici takım üzerinde oluşan gerilmelerin belirlenmesi için ADVANTEDGE yazılımı kullanılarak bir dizi simülasyon gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlarda kullanılan talaş açıları ve kesme parametreleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Simülasyonlarında kullanılan talaş açıları ve işleme parametreleri.

Simülasyon No	Talaş Açısı	Kesme hızı (V, m/dk)	İlerleme hızı (f, mm/dev)	Kesme derinliği (a, mm)
1	-2°	300	0,25	1
2	0°			
3	2°			
4	4°			
5	6°			
6	8°			

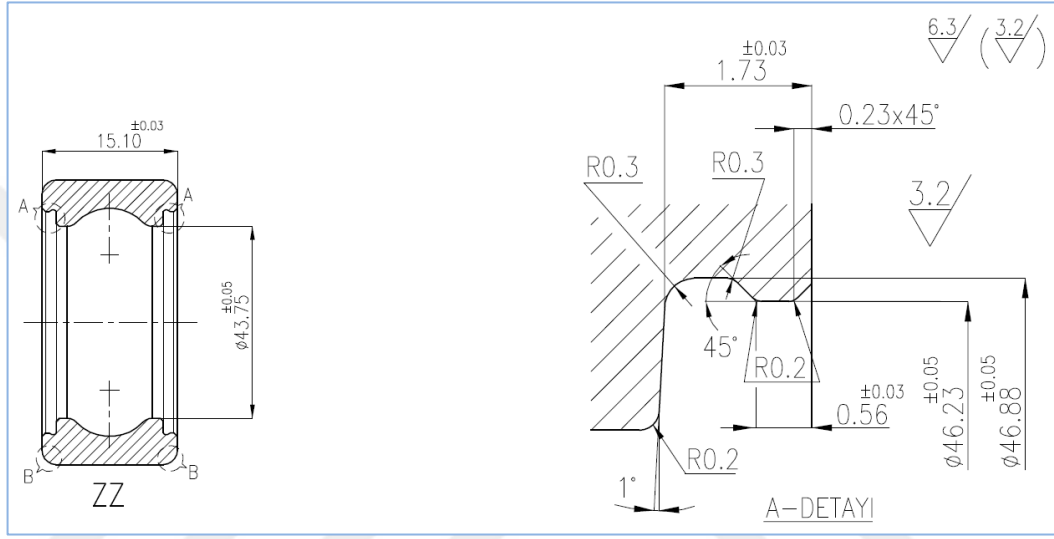
Simülasyon sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin tornalama esnasında elde edilen kuvvetlere yakın olması beklenmektedir. Bu nedenle simülasyonlarda kullanılan malzeme modeli büyük önem arz etmektedir. Yapılan literatür araştırması sonucunda, simülasyonlarda J-C malzeme modelin kullanılması gerektiğine karar verilmiştir. Simülasyonlar sırasında 100Cr6 malzeme için kullanılan J-C malzeme modeline ait parametreler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan J-C parametreleri.

A (MPa)	B (MPa)	n	c	m
448	700	0.30	0.01	0.31

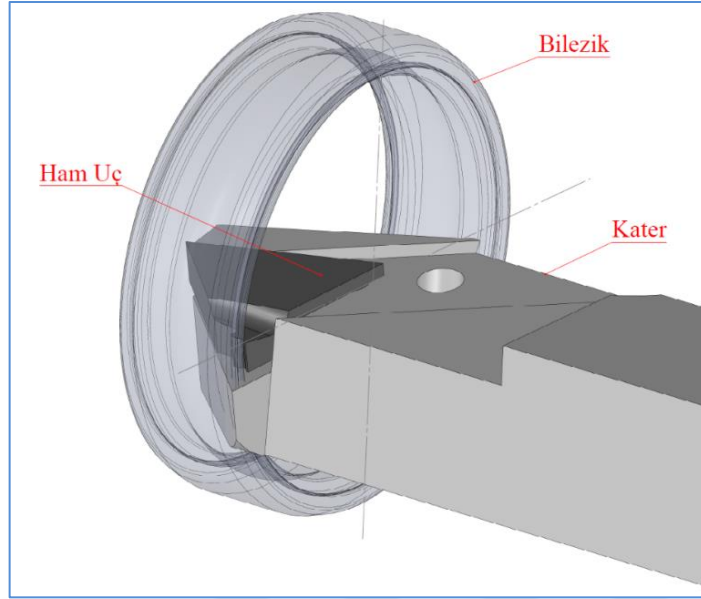
4.3. FORM UÇLARIN ÜRETİMİ

Çalışmanın ikinci aşamasında, deneysel çalışmalar kullanılmak üzere 6205 kodlu rulman dış bileziğinde bulunan kapak yuvası formunu oluşturmak için form uçlar tasarlanmış ve üretilmiştir. Form uçların tasarımında, 6205 kodlu rulman dış bileziği kapak yuvasına ait teknik resimden yararlanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. 6205 kodlu rulman dış bilezik kapak yuvası teknik resmi.

Form uçlarda bulunan talaş açısının tornalanan rulman dış bileziğindeki ölçüleri değiştirmesi nedeni ile belirlenen talaş açlarına uygun uç dizayn edilmesi gerekmektedir. Talaş açlarına uygun kesici uç tasarımı SOLIDWORKS katı modelleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesici uç tasarım aşamaları Bölüm 3.3'te detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu bağlamda, 6205 kodlu rulman dış bilezik kapak yuvasının form tornalama işleminde kullanılan ham uç geometrisi Şekil 4.2'de üçboyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Solidworks montaj modülü ile uç tasarımı.

4.3.1. Form Uçların Taşlanması

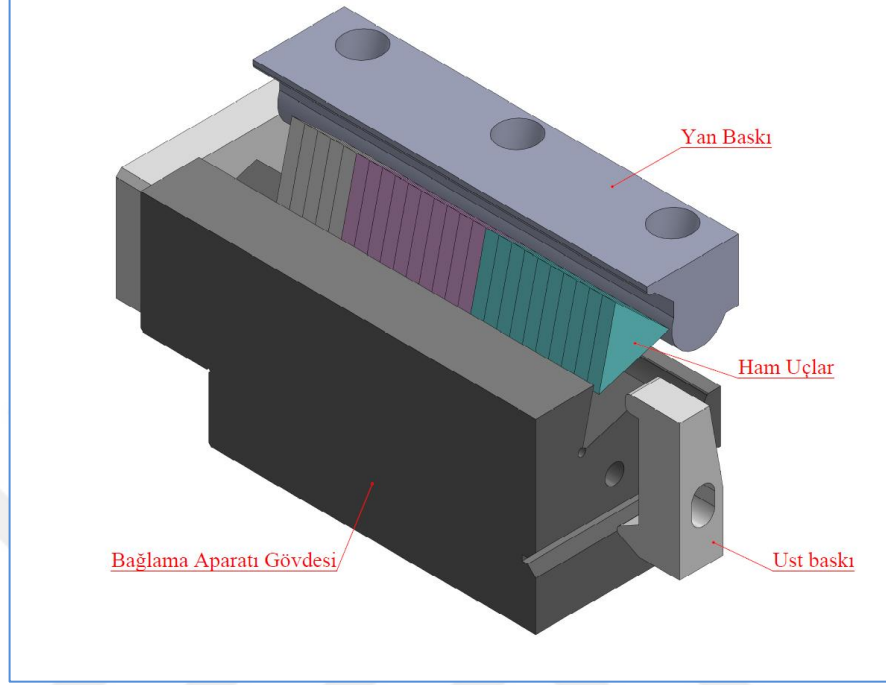
Gerek termal yüklerle karşı dayanıklılığı gerekse kaplamasız olarak gösterdiği yüksek aşınma direnci nedeniyle, bu çalışmada yapılan bütün deneylerde sermet malzemedен üretilmiş ham uçlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ham uçlar KYOCERA firmasından TNGN 220402 kodlu olarak temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda üç farklı sermet kalitesinin performansı değerlendirilmiş olup, kullanılan kesici uç kaliteleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kesici uç geometri ve kaliteleri.

No	Marka	Geometri	Kalite
1	KYOCERA	TNGN 220402	TN 90
2			TN 610
3			TN 620

Kesici uç ömür deneylerinde kullanılan form uçların taşlanması 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada WAIDA SPG-W tezgâhında form taşlama işlemi uygulanmıştır. Form taşlama esnasında kesici uçlar Şekil 4.3'te gösterildiği şekilde aparata bağlanmış ve kademeli olarak form taşlama işlemi

gerçekleştirilmiştir. Form taşlama işleminde uygulanan adımlar ve kullanılan taşlara ait özellikler Çizelge 4.4’te belirtilmiştir.



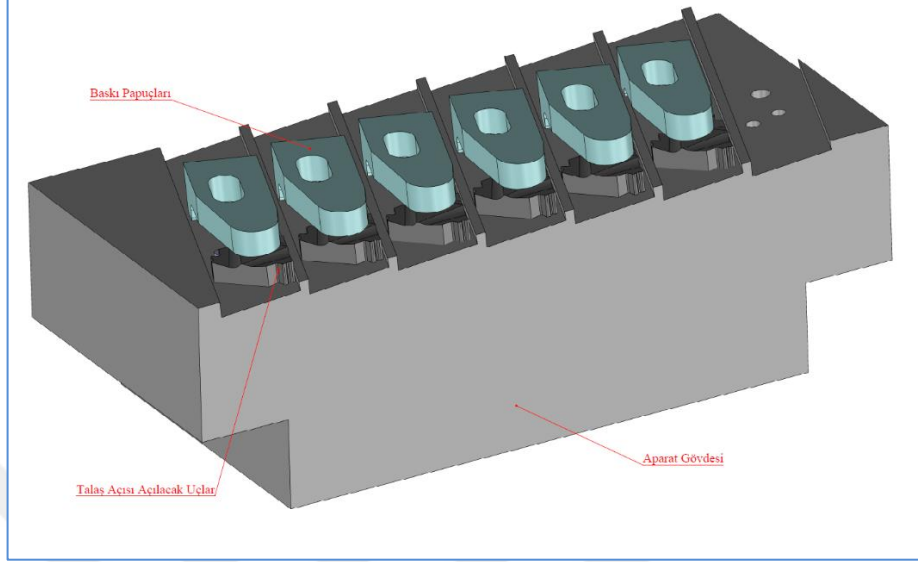
Şekil 4.3. Ham uçların form taşlama için aparata bağlanması.

Çizelge 4.4. Form taşlama aşamaları ve kullanılan taşlar.

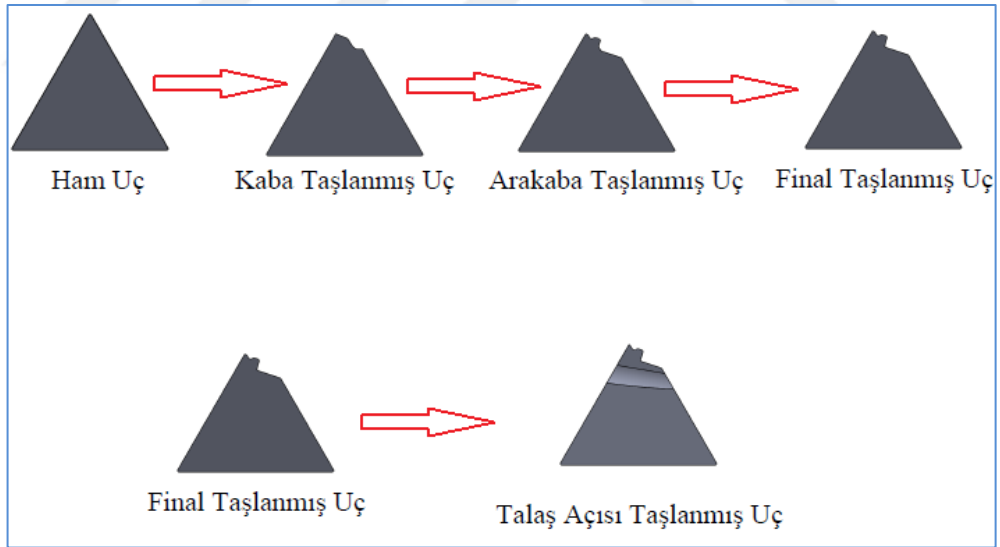
İşlem Sırası	İşlem Adı	Taş Ölçüsü	Taş Özellikleri
1	Kaba Taşlama	180D-8T-8W-15° (R1)	C125 RWG4 D126
2	Kaba Form Taşlama	180D-8T-8W-15° (R 0,2-R 0,3)	SD 400 N 125 M M
3	Final Form Taşlama	180D-8T-8W-15° (R0,08-R0,1)	SD 400 N 125 M M

İkinci aşamada, WAIDA SPG-W tezgâhında daha önceden belirlenen üç adet talaş açısının oluşturulması amacıyla taşlama işlemi uygulanmıştır. Taşlama operasyonunu gerçekleştirmek için form taşlaması yapılan kesici uçlar Şekil 4.4’te gösterilen

aparata bağlanmıştır. Resin bağlayıcı elmas taş (C125 RWG4 D54) kullanılarak gerçekleştirilen işlem sonucunda elde edilen uç formları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Uçların talaş açısı taşlama için aparata bağlanması.



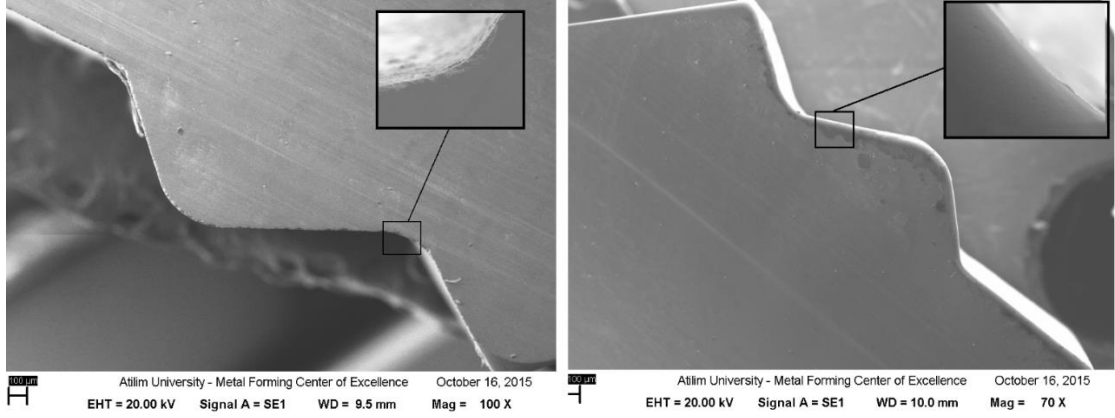
Şekil 4.5. Talaş açısı oluşturma için taşlama aşamaları.

4.3.2. Form Uçlarda Kesme Kenarının Hazırlanması

Çeşitli deneysel çalışmalar neticesinde kesici uç ömrüne etki eden bir diğer parametrenin honlama süresine bağlı oluşan takım geometrisi olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, form uçların taşlamasında kullanılan taşların içerisindeki elmas aşındırıcının boyutuna bağlı olarak kesme kenarında taşlama sonrası mikro kırıklar oluşmaktadır. Bu kırıklar, kesme kuvveti ile birlikte gerilme yığılmalarına neden olmakta ve kesici uçların çalışması esnasında öngörülemeyen kırılmalara yol açmaktadır. Bu nedenle form taşlama sonrasında kesme kenarındaki form bozukluklarının giderilmesi gerekmektedir. Bu işlem genellikle elmas emdirilmiş fırçalar vasıtası ile yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak bütün kesici uçlar form taşlama sonrasında GERBER kesme kenarı hazırlama tezgahında (Şekil 4.6) elmas emdirilmiş fırça ile honlanmıştır. Bu bağlamda, kesici uç kesme kenarında oluşan radyüs değerlerinin uç ömrüne etki seviyesini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere çeşitli honlama süreleri belirlenmiştir (3, 5 ve 7 dk). Taşlanmış uçların honlama öncesi ve sonrası taramalı elektron mikroskopundaki görüntüsü örnek olarak Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Gerber kesme kenarı hazırlama tezgahı.



Şekil 4.7. Kesme kenarının honlama öncesi ve sonrası SEM görüntüsü.

4.4. DENEY TASARIMI

Deney tasarımı (DOE), giriş değişkenlerinin (faktörlerin) bir çıkış değişkeni (yanıt) üzerindeki etkilerinin araştırılmasında yardımcı olan istatistiksel bir yöntemdir. Bu deneyler, girdiler üzerinde sistemli değişiklikler yapılan bir dizi işlemden veya testlerden oluşur [34]. Deney tasarım yöntemleri talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede, işleme parametrelerinin nihai ürün üzerindeki etkileri daha kısa süre ve maliyetlerde kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

Günümüzde, deney tasarım yöntemini uygulayabilen birçok bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılımlardan biri olan MINITAB programı sayesinde girdilerin çıktılar üzerindeki etkileri kolaylıkla analiz edilebilmektedir. Ayrıca yazılımın grafik tabanlı kullanıcı arayüzü sayesinde çıktılara bağlı olarak girdiler optimizasyonu yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, MINITAB yazılımı ile yapılan deney tasarımında talaş açısı, honlama süresi ve uç kalitesi faktör olarak seçilmiştir. Kesici uç ömrünün işleme çıktısı olarak tanımlandığı L27 dikey dizinine göre deney tasarımı yapılmış olup, kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Parametre ve seviyeleri.

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Talaş açısı (°)	2	4	6
Honlama süresi (dak)	3	5	7
Uç kalitesi	TN 90	TN 610	TN 620

4.5. KESİCİ UÇ ÖMÜR TESTLERİ

Bu çalışmanın son aşamasında, küreselleştirme işlemi uygulanmış 240 ± 2 HBN sertliğe sahip 100Cr6 malzemeden imal edilen 6205 kodlu rulman dış bilezik kapak yuvası form tornalama işleminde kullanılmak üzere tasarlanan ve üretilen kesici uçların performansı araştırılmıştır. Bu amaçla, L27 deney tasarımına (Çizelge 4.6) göre kesici uç ömür testleri hidrolik kızaklı Shinban Tekmilli Torna Tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Shinban tekmilli torna tezgahı.

Çizelge 4.6. Deney tasarımı.

Deney No	Talaş açısı (°)	Honlama süresi (dk)	Uç kalitesi
1	2	3	TN 90
2	2	3	TN 610
3	2	3	TN 620
4	2	5	TN 90
5	2	5	TN 610
6	2	5	TN 620
7	2	7	TN 90
8	2	7	TN 610
9	2	7	TN 620
10	4	3	TN 90
11	4	3	TN 610
12	4	3	TN 620
13	4	5	TN 90
14	4	5	TN 610
15	4	5	TN 620
16	4	7	TN 90
17	4	7	TN 610
18	4	7	TN 620
19	6	3	TN 90
20	6	3	TN 610
21	6	3	TN 620
22	6	5	TN 90
23	6	5	TN 610
24	6	5	TN 620
25	6	7	TN 90
26	6	7	TN 610
27	6	7	TN 620

6205 kodlu rulman dış bilezik kapak yuvasının oluşturulması için form tornalama operasyonlarında kullanılan özel kater ve kesici uç resmi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kesici uç ve kater fotoğrafı.

Form tornalama deneylerinde işleme çıktısı olarak belirlenen kesici uç ömrü (performans kriteri) işlenen parça sayısına göre tespit edilmiştir. Bu nedenle, deneyler sırasında işlenen parçalar Mahrsurf XC20 kontur cihazında ölçülerek kesici uç ömürleri değerlendirilmiştir (Şekil 4.10). Bu bağlamda, her bir kesici takım değişimi sırasında yapılan ilk ve son parça ölçümleri sonucunda kesici uç kırığı/aşınması incelenerek analizler yapılmıştır.



Şekil 4.10. Kontur tarama cihazı.

BÖLÜM 5

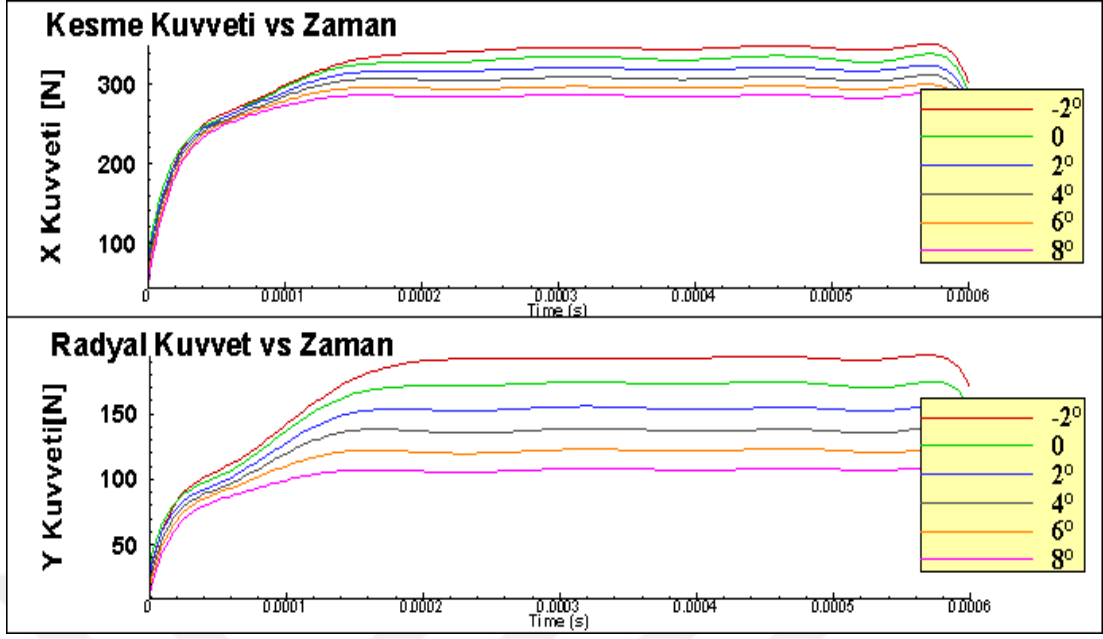
DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

5.1. KESME SİMÜLASYONLARI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, ilk olarak 100Cr6 malzemenin tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve kesici uç üzerinde meydana gelen eşdeğer (Von Mises) gerilme dağılımlarına talaş açısının etkisi sonlu elemanlar yöntemine dayalı kesme simülasyonları ile incelenmiştir. Dik kesme teorisine göre gerçekleştirilen nümerik analizlerde beş farklı talaş açısı (-2° , 0° , 2° , 4° , 6° , 8°) kullanılmıştır. Kesme simülasyonlarında kesme parametreleri (Çizelge 4.1) ve takım geometrisini oluşturan diğer açılar sabit olarak alınmıştır.

Yapılan sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerinin (X-Kesme kuvveti ve Y-Radyal kuvvet) zamana göre değişimleri Şekil 5.1'deki grafiklerde gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, talaş açısı ve kesme kuvvetleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Buna göre talaş açısındaki 2° 'lik artış ilerleme yönünde (X) oluşan kuvvette yaklaşık %5, radyal yönde oluşan kuvvette %10'luk azalmaya neden olduğu hesaplanmıştır.

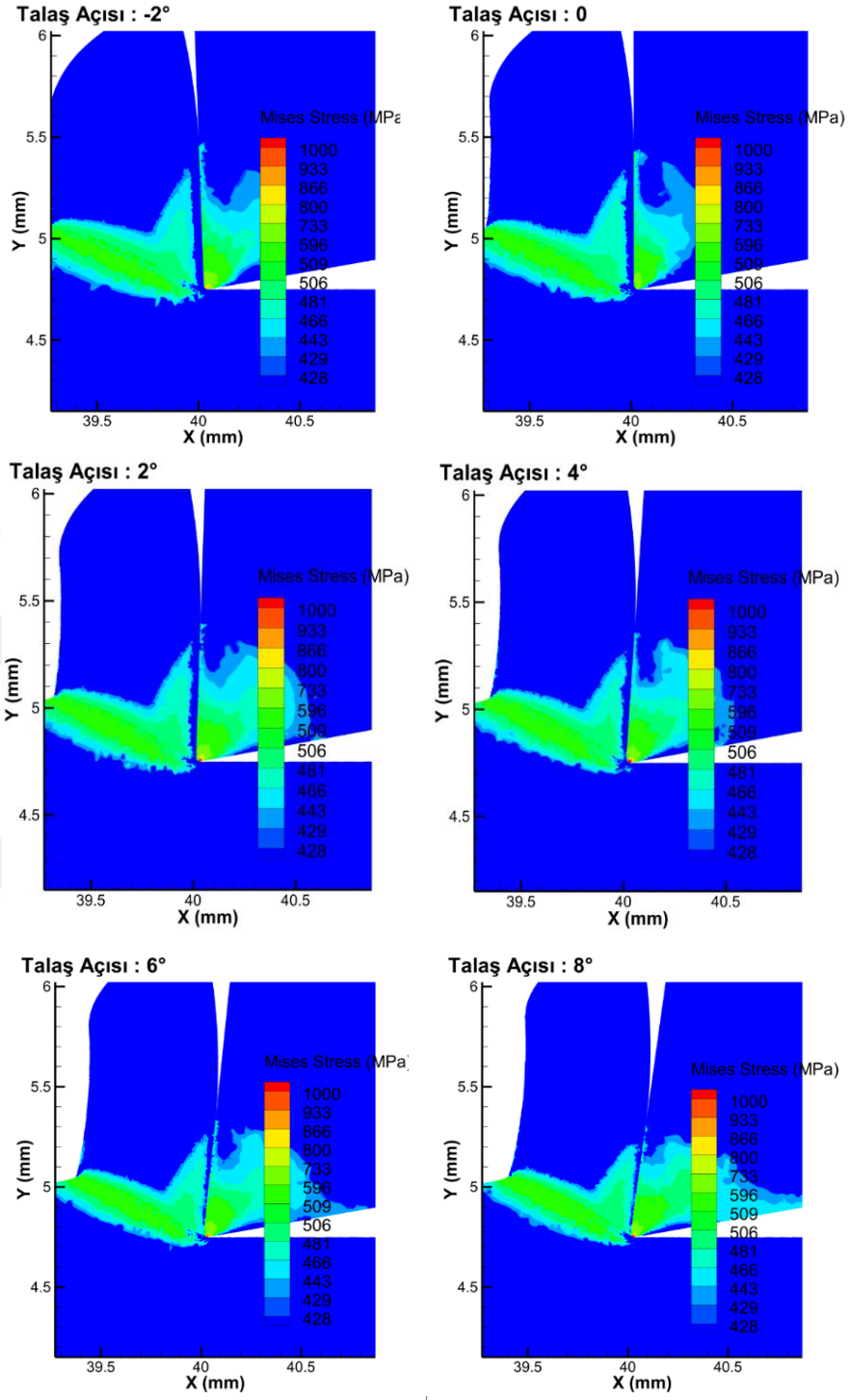
Talaş açısındaki artışa bağlı olarak kesici uç üzerinde oluşan gerilmelerin artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle kesme simülasyonları için yapılan nümerik analizler sonucunda kesici takım üzerinde oluşan Von Mises gerilmeleri incelenmiştir.



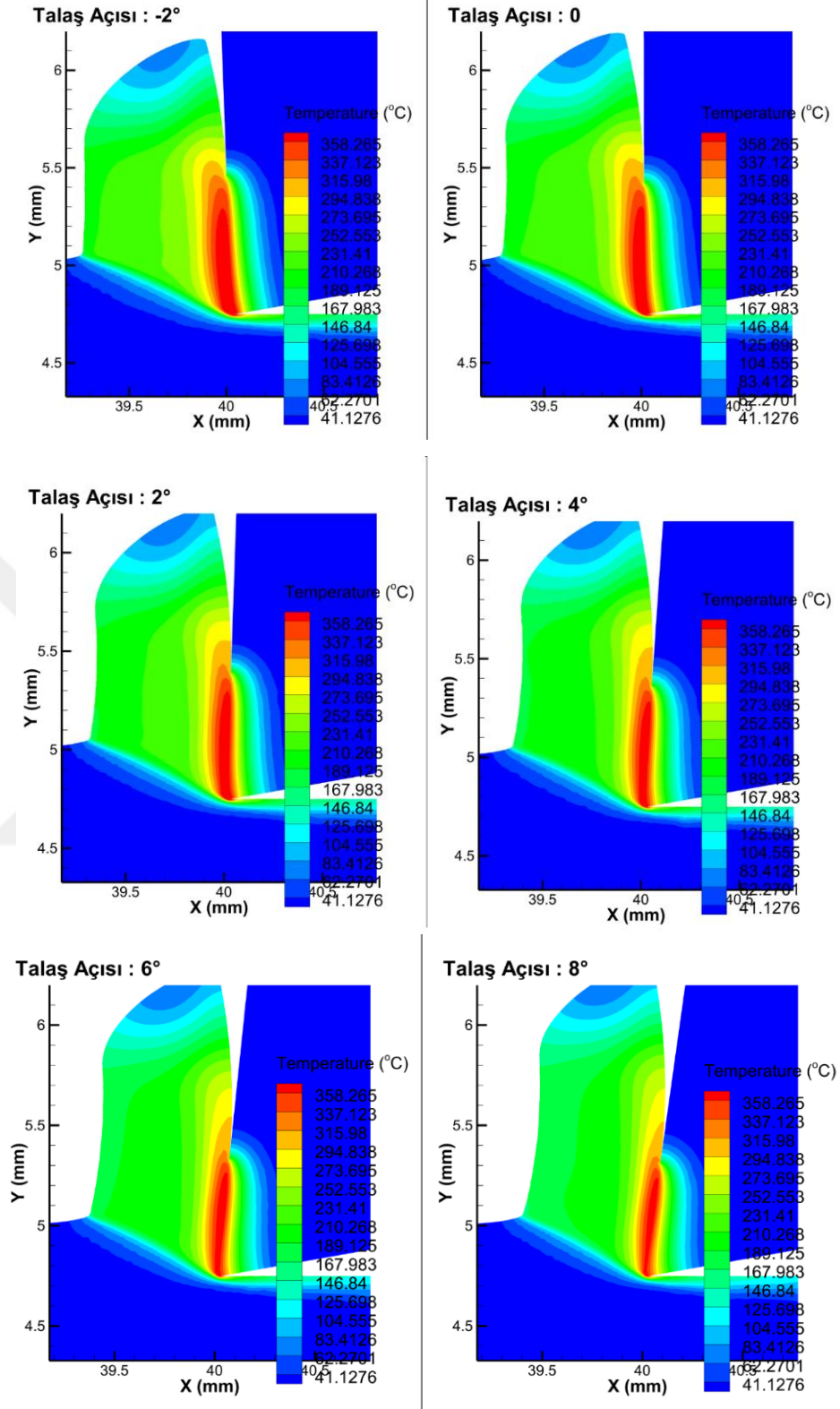
Şekil 5.1. Kesme kuvvetlerinin talaş açısına göre değişimi.

Yapılan değerlendirmeler sonucu 8°'lik talaş açısı ile gerçekleştirilen simülasyonda oluşan Von Mises gerilmesinin 6°, 4° ve 2°'lik talaş açıları ile gerçekleştirilen deneylerdeki gerilmelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.2). Bu nedenle daha düşük kesme kuvvetleri ortaya çıkmasına rağmen daha yüksek gerilmelerin olduğu 8°'lik talaş açısının kesici uç ömür testleri için yapılan çalışmalarda kullanılmamasına karar verilmiştir.

Diğer yandan, yapılan kesme simülasyonlarında takım-talaş arayüzeyi boyunca (İkinci deformasyon bölgesi) oluşan sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Negatif ve nötr kesmeye neden olan -2° ve 0° talaş açılarında ortaya çıkan gerilmelerin nispeten az olmasına rağmen, bu açılarda oluşan sıcaklığın kesici uç üzerinde daha geniş bir alana dağıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Bu sonuca göre, kesici takımlarda sıcaklığa bağlı plastik deformasyon süreci dolayısıyla takım aşınmasının artacağı düşünülmektedir. Hem kesme kuvvetleri hem de takım-talaş arayüzey sıcaklık dağılımları neticesinde, kesici uç ömür testlerinde kullanılacak talaş açıları 2°, 4° ve 6° olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Uç üzerinde oluşan Von Mises gerilmeleri.

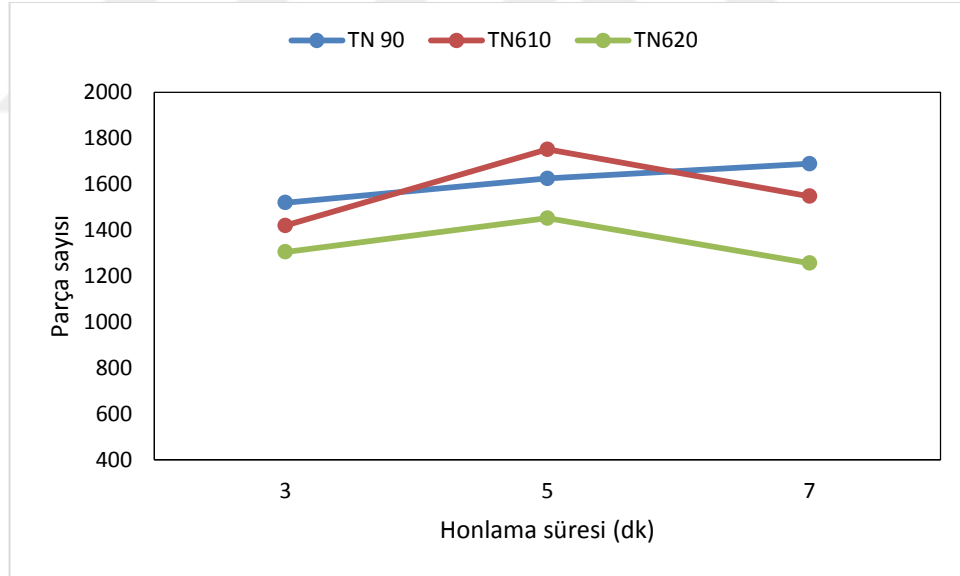


Şekil 5.3. Kesme bölgesi sıcaklığının talaş açısına göre değişimi.

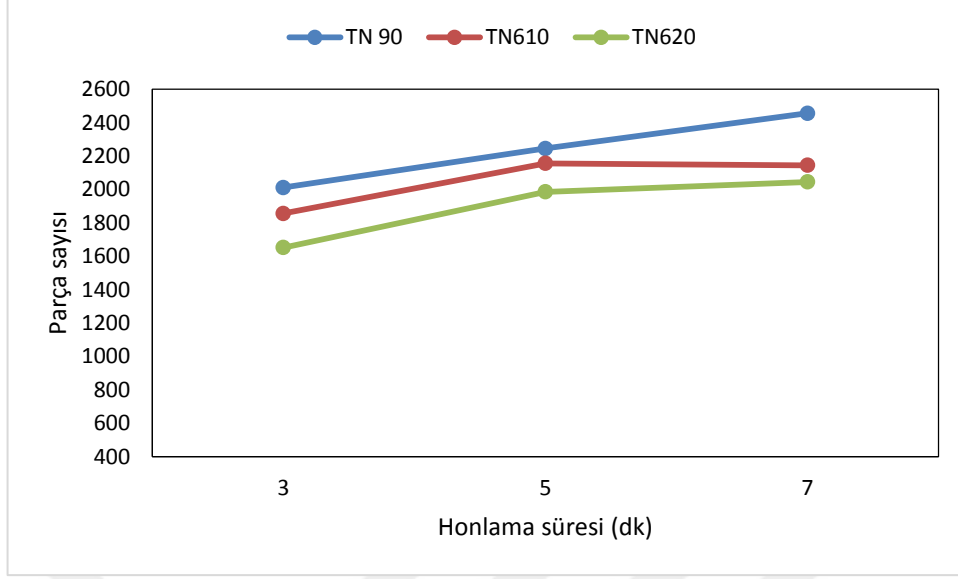
5.2. FORM TORNALAMA DENEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dik kesme modeli esaslı yapılan kesme simülasyonları ile belirlenen talaş açlarına göre 6205 dış bilezik kapak yuvası için tasarlanarak üretilen üç farklı kalitede sermet kesici uç, deney tasarımında belirtilen sürelerle göre honlanmıştır. Elde edilen kesici uçlar ile deney tasarımına göre form tornalama deneyleri yapılmış ve işlenen parça sayısı esas alınarak kesici uç ömürleri belirlenmiştir. İşlenen parçaların geometrileri Mahr XC20 kontor ölçme tezgâhında ölçülmüş ve form hatasının olduğu parça sayısı kesici takım ömrü olarak kabul edilmiştir.

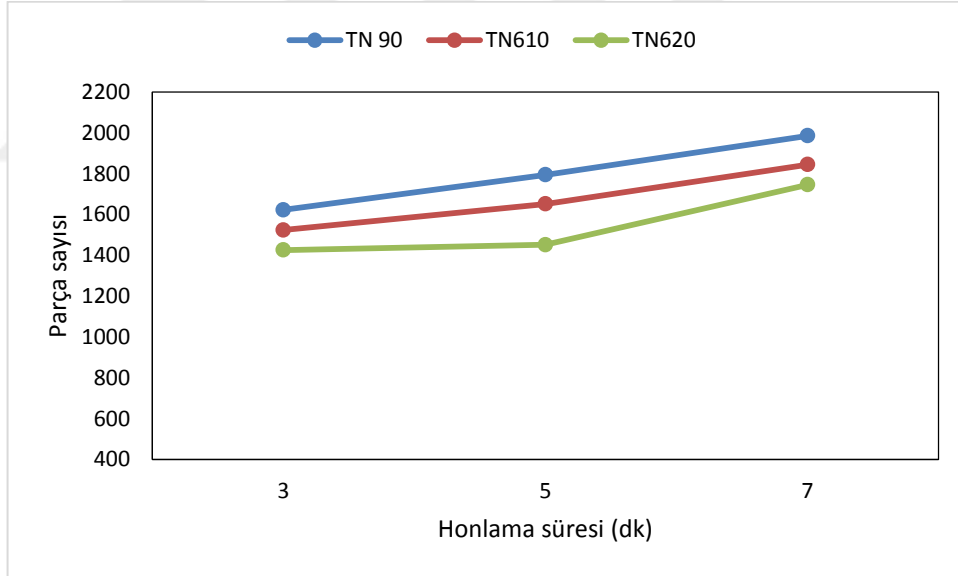
Form tornalama deneyleri sonucu elde edilen kesici uç ömürlerinin, uç kalitesi ve honlama süresine göre değişimleri 2° , 4° ve 6° talaş açısı için sırasıyla Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da grafikler halinde gösterilmektedir.



Şekil 5.4. 2° talaş açısı için kesici uç ömrü, kalite ve honlama süresi grafiği.



Şekil 5.5. 4° talaş açısı için kesici uç ömrü, kalite ve honlamas süresi grafiği.

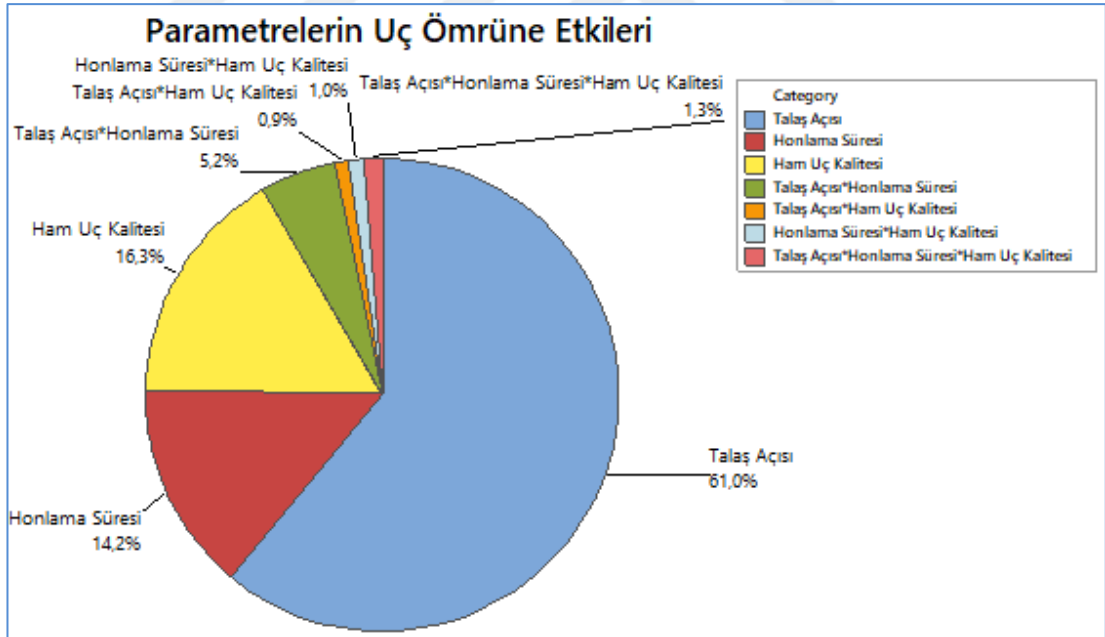


Şekil 5.6. 6° talaş açısı için kesici uç ömrü, kalite ve honlamas süresi grafiği.

Grafikler genel olarak incelendiğinde; en yüksek kesici uç ömürlerinin 4° talaş açısına sahip uçlar ile elde edildiği görülmektedir. Elde edilen uç ömürlerinin 2° ve 6° talaş açısına sahip uçlardan yüksek olmasının nedeni olarak, 4° talaş açısı ile elde edilen kesme kuvvetlerinin ve Von Mises gerilmelerinin optimum seviyede olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

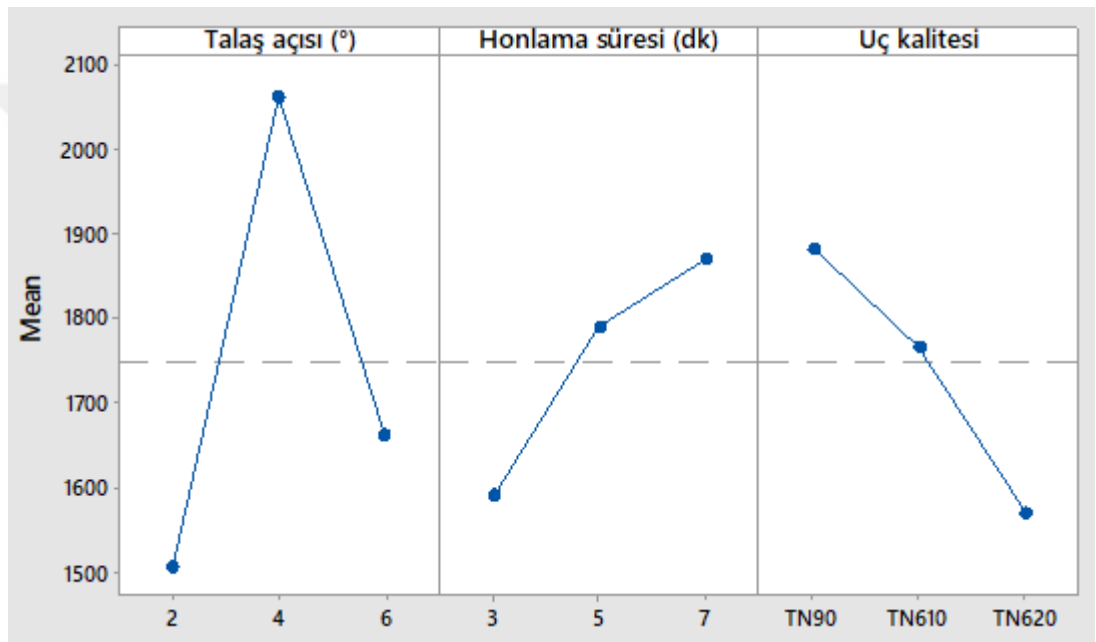
Honlama süresinin etkisi incelendiğinde, talaş açısı ve sermet kalitesi için uç ömür değişimlerinin benzer eğilimde olduğu görülmekte olup, honlama süresinin artışı ile kesici uç ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Bu sonucun, honlama süresinin artmasıyla birlikte takım kesici kenarlarında oluşan mikro kırıkların minimize edilmesi ve böylece kesici kenarlardaki yüzey kalitesinin iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Form tornalamada, işleme parametrelerinin tekli, ikili ve üçlü etkileşimleri için kesici uç ömrü üzerinde etki seviyelerini belirlemek için yüzde dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 5.7). Bu grafik incelendiğinde, parametrelerin önem seviyesi sırasıyla talaş açısı (%61) değeri, uç kalitesi (%16,3) ve honlama süresi (%14,2) olduğu tespit edilmiştir. İkili ve üçlü etkileşimlerin uç ömründe etkisi olduğu tespit edilmiş olsa da talaş açısı*honlama süresi etkileşimi (%5,2) hariç diğer parametre etkileşimlerinin ihmal edilebilir seviyelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7. Parametrelerin uç ömrüne etkileri.

Ayrıca, kesici uç ömrünün işleme parametrelerine göre değişimini daha net olarak görebilmek amacıyla ana etki grafiği oluşturulmuştur (Şekil 5.8). Bu grafikten görülebileceği gibi, 2° talaş açısına sahip kesici uçlar ile elde edilen takım ömrünün 4° ve 6° talaş açısında sahip uçlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu değişime 2° talaş açısına sahip uçlar ile tornalama yaparken ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin diğer talaş açılara göre daha yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir. 2° talaş açısı için en büyük uç ömrü (parça sayısı) TN610 kalite sermet takımla 1752 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Uç ömrü için ana etki grafiği.

6° talaş açısına sahip kesici uçlar ile gerçekleştirilen form tornalama esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri, 4° ve 2° talaş açısına sahip uçlar ile tornalama yaparken ortaya çıkan kesme kuvvetlerine göre düşük olmasına rağmen, bu uçlar ile elde edilen uç ömrü 4° talaş açısı ile elde edilen uç ömrüne göre daha düşük seviyelerdedir. Bu sonucun ise 6° talaş açısına sahip kesici uç üzerinde oluşan Von Mises gerilmelerinin diğer kesici uçlara nazaran daha yüksek olmasının neden olduğu düşünülmektedir. 4° talaş açısı için en büyük uç ömrü (parça sayısı) TN90 kalite sermet takımla 2456 olarak elde edilmiştir. 6° talaş açısı için en büyük uç ömrü (parça sayısı) ise TN90 kalite sermet takımla 1986 olarak elde edilmiştir.

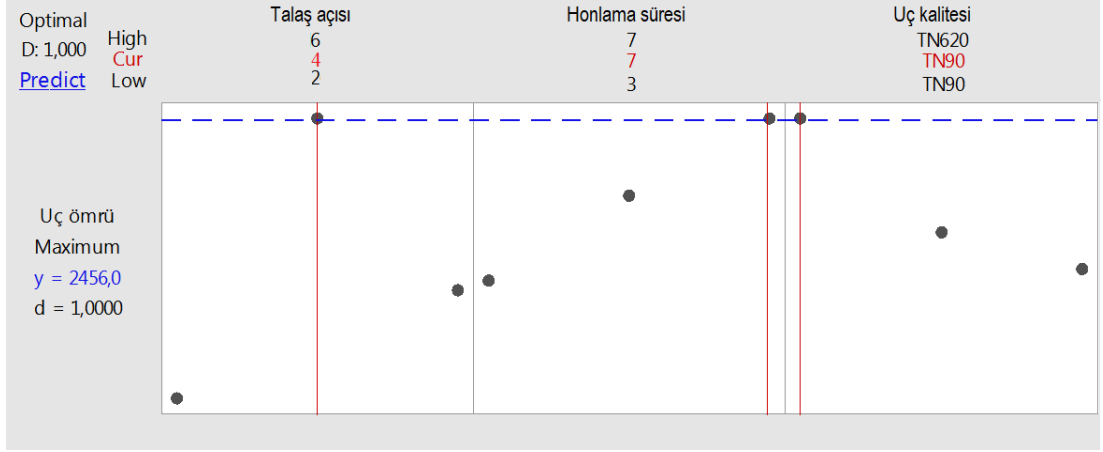
Şekil 5.8'deki grafik incelendiğinde honlama süresindeki değişimin uç ömrünü pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Buna göre honlama süresinin 3 dk'dan 5 dk'ya çıkarılmasıyla uç ömründe %12,5'lik bir artışın sağlandığı tespit edilmiştir. Bu iyileşmenin, kesici ucun taşlanması sırasında oluşan mikro kırıkların 3 dk honlama ile tamamen giderilememesinin neden olduğu düşünülmektedir. Honlama süresi 5 dk'dan 7 dk'ya çıkarıldığında ise elde edilen kesici takım ömrü artışı %6,25 seviyesindedir. Bu sonuç ve Şekil 5.8'den görülebileceği gibi, honlama süresinin artmasına rağmen kesici uç ömründeki artışın doğrusal bir oranda olmadığı göstermektedir. Honlama süresi ile kesici uç ömrü arasında doğrusal bir etkileşimin olmaması, honlama süresindeki artışın kesme kenarı radyüsünü ve buna bağlı olarak kesme kuvvetlerini artırmasına atıf edilmektedir. Bu bağlamda, 7 dk'nın üzerindeki honlama sürelerinin kesici uç ömründe azalmaya yol açacağı düşünülmektedir.

Sermet kalitelere göre bir değerlendirme yapıldığında, rulman bileziği kapak yuvasının oluşturulmasında uygulanan form tornalama işlemi için en yüksek kesici uç ömrünün TN90 kalite ile elde edildiği tespit edilmiştir.

5.3. FORM TORNALAMA İÇİN OPTİMİZASYON

Rulman bileziği kapak yuvasının form tornalama yöntemi ile oluşturulmasında sonlu elemanlar yöntemi esaslı kesme simülasyonları ve kesici takım ömrü deneyleri sonuçları değerlendirilerek işleme parametreleri optimize edilmiştir. Bu çalışmada, deney dizisinin full faktöriyel tasarıma uygun olmasına bağlı olarak MINITAB programının "Response Optimizer" (Yanıt optimizasyonu) ara yüzü kullanılarak en uygun kesici uç kalitesi, talaş açısı ve honlama süresi belirlenmiştir.

DeneySEL verilere bağlı optimizasyon süreçlerinin son aşaması, optimizasyonun geçerliliği için onaylama deneylerinin yapılmasını gerektirir. Ancak, optimum parametre seviyelerinin deney tasarımı içerisinde bulunması durumunda onaylama deneyleri yapılmaksızın optimizasyon sonuçları kabul edilebilmektedir.



Şekil 5.9. İşleme parametrelerine göre optimizasyon sonucu.

Yapılan değerlendirme sonucunda, sermet kesici takımlardan TN90 kalite uc, 4° talaş açısı ve 7 dakika honlama süresi ile maksimum kesici uç ömrünün elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 5.9). Şekil 5.9’da verilen grafik üzerinde işleme parametrelerinin kırmızı renkli değerleri optimum seviyeleri göstermektedir. Ayrıca, en büyük kesici uç ömrü $y=2456$ parça sayısı olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Isıl işleme tabi tutulmuş 100Cr6 malzemedен üretilen 6205 kodlu rulman dış bileziğinin kapak yuvası formunu oluşturmada kullanılan form uçların takım ömrü optimizasyonu yapılmıştır. Bunun için ilk aşamada sonlu elemanlar yöntemine dayalı kesme simülasyonları ile kesici takım talaş açıları belirlenmiştir. İkinci aşamada, üç farklı sermet kalite kesici uç, talaş açısı ve honlama süresine bağlı olarak takım performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

- Nümerik analize dayalı tornalama simülasyonları sonucunda, talaş açısının pozitif yönde artışı ile kesme kuvvetleri azalmakta, ancak talaş açısının artmasıyla kesici uç üzerindeki Von Mises gerilmelerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Kesme simülasyonları neticesinde, -2° ve 0° talaş açılarında oluşan gerilmeler küçük olmasına rağmen, ikinci deformasyon bölgesinde sıcaklık dağılımının kesici uç üzerine yoğunlaştığı belirlenmiştir.
- Nümerik analiz çalışmaları sonucunda, en uygun talaş açısı değerleri 2° , 4° ve 6° olarak belirlenmiştir.
- Kesici takım talaş açısındaki 2° 'lik artış kesme yönünde oluşan kuvvette yaklaşık %5, radyal yönde oluşan kuvvette %10'luk azalmaya neden olmaktadır.
- Form uçların üretiminde uygulanan honlama süresi belirli bir değerden (3 dk) sonra form uçlardaki mikro kırılmanın azalmasını sağlayarak kesici uç ömrünün artmasına katkıda bulunduğu belirlenmiştir.
- 2° talaş açısı için en fazla uç ömrü TN610 kalite sermet takımla, 4° ve 6° talaş açıları için en fazla uç ömrü TN90 kalite sermet takımlarla elde edilmiştir.

- Optimizasyon alışmaları sonucunda, 6205 kodlu rulman dış bilezik kapak yuvası form kesici ucu için en yüksek ömrüne 4° talaş açısı, 7 dk honlama süresi ve TN90 kalite sermet takımla ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre gelecekte yapılacak araştırmalar için řu öneriler verilebilir:

- Belirlenen form uç kalitesi için kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak kesme parametreleri optimizasyonu yapılabilir.
- Sermet kalitelerinden üretilmiş form uçlar ile kaplamalı karbür kalitelerinin ömrü karşılaştırılabilir.
- Aynı sermet kaliteleri ile farklı geometriler için form tornalama işlemleri yapılarak kesici aşınma mekanizmaları ve eřitleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Astakhov, V. P. and Osman, M. O. M., "Correlations amongst process parameters in metal cutting and their use for establishing the optimum cutting speed," *J. Mater. Process. Technol.*, 62,(1–3), 175–179, (1996).
2. Arsecularatne, J. A., Fowle, R. F., Mathew, P. and Oxley, P. L. B. "Prediction of tool life in oblique machining with nose radius tools," *Wear*, 198,(1–2), 220–228, (1996).
3. Xie, Z., Guan, Y., Lin, J., Zhai, J. and Zhu, L., "Constitutive model of 6063 aluminum alloy under the ultrasonic vibration upsetting based on Johnson-Cook model," *Ultrasonics*, 96,(March), 1–9, (2019).
4. Günay, M., Aslan, E., Korkut, I. and Şeker, U., "Investigation of the effect of rake angle on main cutting force," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 44, (9),953–959, (2004).
5. Choudhury, I. A., See, N. L. and Zukhairi, M., "Machining with chamfered tools," *J. Mater. Process. Technol.*, 170, (1–2), 115–120, (2005).
6. Sağlam, H., Unsacar, F. and Yaldiz, S., "Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 46,(2), 132–141,(2006).
7. Luo, X., Cheng, K., Holt, R. and Liu, X., "Modeling flank wear of carbide tool insert in metal cutting," *Wear*, 259, (7–12), 1235–1240, (2005).
8. Ebrahimi, A. and Moshksar, M. M., "Study of machinability in boring operation of microalloyed and heat-treated alloy steels," *Mater. Sci. Eng.*, A. (460–461), 314–323, (2007).
9. Kaymakci, M., Kilic, Z. M. and Altintas, Y., "Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 54 (55), 34–45, (2012).
10. Zhang, G. and Guo, C., "Modeling of Cutting Force Distribution on Tool Edge in Turning Process," *Procedia Manuf.*, 1, 454–465, (2015).

11. Bayraktar, S., Hekimoglu, A. P., Turgut, Y. and Haciosmanoglu, M., "A Performance Comparison Study of Uncoated and TiAlN Coated Carbide End Mill on Machining of the Al-35Zn Alloy," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 295, (1), 2–9, (2018).
12. Xie, J. Q., Bayoumi, A. E. and Zbib, H. M., "FEA modeling and simulation of shear localized chip formation in metal cutting," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 38, (9), 1067–1087, (1998).
13. Shet, C. and Deng, X., "Finite element analysis of the orthogonal metal cutting process," *J. Mater. Process. Technol.*, 105,(1), 95–109, (2000).
14. Ceretti, E., Lazzaroni, C., Menegardo, L. and Altan, T., "Turning simulations using a three-dimensional FEM code," *J. Mater. Process. Technol.*, 98, (1), 99–103, (2000).
15. Liu, C. R. and Guo, Y. B., "Finite element analysis of the effect of sequential cuts and tool-chip friction on residual stresses in a machined layer," *Int. J. Mech. Sci.*, 42, (6), 1069–1086, (2000).
16. Ning, H., Zhigang, W., Chengyu, J. and Bing, Z., "Finite element method analysis and control stratagem for machining deformation of thin-walled components," *J. Mater. Process. Technol.*, 139, (1-3), 332–336, (2003).
17. Xie, L. J., Schmidt, J., Schmidt, C. and Biesinger, F., "2D FEM estimate of tool wear in turning operation," *Wear*, 258, (10), 1479–1490, (2005).
18. Jiang, L. and Wang, D., "Finite-element-analysis of the effect of different wiper tool edge geometries during the hard turning of AISI 4340 steel," *Simul. Model. Pract. Theory*, 94, 250–263, (2019).
19. Matsumoto, Y., Hashimoto, F. and Lahoti, G., "Surface integrity generated by precision hard turning," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 48,(1), 59–62, (1999).
20. Brinksmeier, E., Sölter, J. and Grate, C., "Distortion engineering - identification of causes for dimensional and form deviations of bearing rings," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 56, (1), 109–112, (2007).
21. Stoebener, D. and Dijkman, M., "An Ultrasound In-Process-Measuring System to Ensure a Minimum Roundness Deviation for Rings During Turning," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 56,(1), 513–516, (2007).
22. Maiß, O., Denkena, B. and Grove, T., "Hybrid machining of roller bearing inner rings by hard turning and deep rolling," *J. Mater. Process. Technol.*, 230, 211–216, (2016).
23. Altintas, Y., "Manufacturing Automation," *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*, New York, 4–8, (2012).

24. Stephenson, D. and Agapiou, J., “*Metal Cutting Theory and Practice Third Edition*“, **Springer**, New York 751–782,(2016).
25. Geoffrey, B. and Winston, A. K., *Fundamentals of Machining and Machine Tools 3th edition* , **CRC Press**, New York . (1989).
26. Kılıçarslan, B. , Yardımoğlu, C., “Ortogonal Metal Kesme Benzetimlerinde Kullanılan Malzeme ve Sürtünme Modellerinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi” , **I. Ulusal Talaşlı İmalat Kongresi** ,İzmir, (2009).
27. Korkmaz, M. E., “Sertleştirilmiş Soğuk İş Takim Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takimda Oluşan Gerilmelerin Modellenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,20-50, (2015).
28. Trent, E. M., “Cutting-tool materials,” **Metall. Rev.**, 13,(1), 129–144, (2014).
29. Sandvik, "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook",**Sandvik Coromant**. Sandivken,Sweden, 18-24 (1996).
30. Rodriguez., J. M., P., Jonsén. and A., Svoboda, “Simulation of metal cutting using the particle finite-element method and a physically based plasticity model”, **Comput. Part. Mech.**, 4, (1),35–51, (2017).
31. Perzyna, P., “Fundamental Problems in Viscoplasticity”,**Advances in Applied Mechanics**,9,243-377,(1966).
32. Kayki, M.Ö., Korkmaz, M.E. ve Günay, M., “Metal Kesme Simülasyonları İçin En Uygun Viskoplastik Malzeme Modelinin Belirlenmesi”, **XIX. Ulusal Mekanik Kongresi**,Trabzon, (2015).
33. Burley, M. , Campbell, J. E., Dean, J. and Clyne, T. W. “Johnson-Cook parameter evaluation from ballistic impact data via iterative FEM modelling.” **Int. J. Impact Eng.**, 112, 180–192, (2018).
34. İnternet: Minitab, "*Minitab HelpDocument*", <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/?SID=0>.

ÖZGEÇMİŞ

M. Ömer KAYKI, 1986 yılında Samsun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Samsun'da tamamladı. 2004 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Ortadoğu Rulman Sanayinde Kesici takım mühendisi olarak göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

Adres: Karapınar Mah. Ortadoğu Rulman Sanayi Polatlı / ANKARA

E-posta: omer.kayki@ors.com.tr