



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN TALAŞLI
İMALAT OPERASYONLARINDA
KULLANILAN KARBÜR PARMAK FREZELER
İÇİN UYGUN TAKIM GEOMETRİSİ VE
KARBÜR KALİTESİNİN BELİRLENMESİ**

FERHAT ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN TALAŞLI
İMALAT OPERASYONLARINDA
KULLANILAN KARBÜR PARMAK FREZELER
İÇİN UYGUN TAKIM GEOMETRİSİ VE
KARBÜR KALİTESİNİN BELİRLENMESİ**

FERHAT ÇELİK

(523219030)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2023

MARMARA
ÜNİVERSİTESİ FEN
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Ferhat ÇELİK’ in “Sertleştirilmiş Çeliklerin Talaşlı İmalat Operasyonlarında Kullanılan Karbür Parmak Frezeler İçin Uygun Takım Geometrisi ve Karbür Kalitesinin Belirlenmesi” başlıklı tez çalışması, 27/01/2023 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Yusuf KAYNAK (Danışman)

Marmara Üniversitesi

Doç.Dr.Murat KIYAK (Üye)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Selim HARTOMACIOĞLU (Üye)

Marmara Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../2023 tarih ve sayılı kararı ile Ferhat ÇELİK’in Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

ÖNSÖZ

Marmara Üniversitesinde Lisans eğitimim sırasında tanıştığım ve bir iş yeri stajı uzun bir birlikteliğin adımın temellerini attığım ve ilk iş deneyimime vesile olan **Prof. Dr. Yusuf KAYNAK** hocama çok teşekkür ederim.

Beni her daim, her konuda koşulsuz olarak destekleyen, en güzel ve en zor zamanlarımda her daim yanımda olan üzerimde emekleri olan başta annem, babam, kardeşlerim olmak üzere desteklerinin esirgemeyen aileme her biri için ayrı ayrı sonsuz minnetlerimi sunuyorum.

Ayrıca tez kapsamında bana imkanlar sunan başta Takımhane ve Ar-Ge personelleri olmak üzere emeği geçen tüm Torun Bakır çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

27.01.2023

Ferhat ÇELİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
SEMBOLLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ŞELİK LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Freze Yanal Geometrisi.....	9
1.1.1 Kesme Çapı.....	9
1.1.2 Helis Açısı.....	9
1.1.3 Flute (Oluk).....	9
1.1.4 Yanal Boşalma Açıları (Radial Relief Angle).....	11
1.2 Freze Alın Geometrisi.....	12
1.2.1 Gash (Yarık-Kanal).....	12
1.2.2 Axial Relief (Alın Boşaltma) Açısı.....	13
1.2.3 Gash ve Dish Angle.....	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
2.1 Deney Numunesi.....	14
2.2 Takım Üretimi ve Ölçümü.....	16
2.2.1 CAD-CAM Aşaması.....	16
2.2.1 Üretim Aşaması.....	20
2.2.3 Karbür Ham Malzeme.....	22
2.2.4 Kesici Takımın Ölçülmesi.....	24
2.2.5 Edge Radyus Ölçümü ve Kaplama.....	28
2.3 Talaşlı İmalat Test Düzenegi.....	31
2.3.1 CNC Dikey İşleme Merkezi, Takım Tutucu ve İşleme Parametreleri.....	31
2.3.2 Kesme Kuvvetleri Ölçümü.....	33
2.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	36
2.3.4 Takım Aşınması Ölçümü.....	37

3. TALAŞLI İMALAT TEST VE ANALİZLERİ.....	38
3.1 Kesme Kuvvetleri	38
3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	44
3.3 Takım Aşınması	50
4.BULGULAR VE SONUÇLAR.....	57



ÖZET

SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN TALAŞLI İMALAT OPERASYONLARINDA KULLANILAN KARBÜR PARMAK FREZELER İÇİN UYGUN TAKIM GEOMETRİSİ VE KARBÜR KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Çeliklerin Sertleştirme operasyonu, malzemenin sertlik, dayanım ve aşınma direncinin sahip olması gereken durumlarda kullanılması amacıyla uygulanan bir operasyondur. Özellikle kalıpcılık sektöründe sıcak dövme operasyonların kullanılan kalıpların istenilen geometriye getirilen kalıpların aşınma, sertlik, kalıp yumuşaması gibi durumlarda dayanımın artırılması için çeliğe sertleştirme operasyonu uygulanmaktadır. Bu operasyonla beraber kalıbın sertliği 50-52 HRC sertliğine ulaşılmaktadır. Kalıp sertleştirme operasyonuna uğradıktan sonra kalıba talaşlı imalat operasyonu ile nihai geometrisi verilir veya kalıplar dövme operasyonlarından sonra yumuşayarak özelliğini kaybetmesi sonucu tekrar işlenip eski özelliklerine sahip olması için tekrardan talaşlı imalat operasyonlarından geçmektedir. Lakin kalıbın yüksek sertliğe sahip olması bu kalıpların işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden bu kalıpların işlenebilirliğinde kullanılan kesici takımların yüksek performanslı olması istenmektedir. Kalıpcılık sektöründe en çok kullanılan talaşlı imalat operasyonları başında frezeleme operasyonu gelmektedir. Frezeleme operasyonunda nihai kalıp formunu vermede kullanılan kesici takımların başında ise Ballnose End Mill gelmektedir. Yüksek sertliğe sahip kalıpların işlenmesinde genelde CBN takımlar kullanılmaktadır. Lakin bu takımların üretilmesindeki zorluklarla beraber, takımların yüksek maliyetlerinden dolayı bu takımların kullanılması dezavantaj olarak görülmektedir. Tez çalışmasında karbür küresel başlı (Ballnose) parmak freze kullanılarak, sertleştirilmiş çeliklerde optimum takım geometrisi ve yüksek aşınma direnci sağlayacak karbür kalitesi konularında çalışmalar yapıp takım performansı ve ömürlerini iyileştirerek optimum takım performansı elde etmek ve takım maliyetlerinin minimize ederek kalıp maliyetleri arasında bulunan takım giderlerini minimize ederek kabul edilebilir seviyelere çekmektir. Tez kapsamında, öncelikle sertleştirilmiş çeliklerde kullanılacak kesici takımların hangi özellik ve geometride olması gerektiğini dair teorik çalışmalarla ortaya konulacaktır. Daha sonra geometri için belirlenen parametrelerde kesici takımların tasarımları ve imalatları

gerçekleştirilip, istenilen kalitede takım geometrilerin elde edilip edilmediği kontrol edilecektir. Elde edilen bu takımların deneysel çalışmalarla birlikte takım performansları kıyaslanacak olup, elde edilen optimum geometrili takımın daha sonra farklı karbür kaliteleri ile üretilip takım ömrü testi yapılarak talaşlı imalat operasyonunda istenilen kalite ve takım performansı göz önüne alınarak optimum takım seçiminin yapılması planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Talaşlı İmalat, Sertleştirilmiş Çelik, Kesici Takım Geometrisi, Karbür Parmak Freze, Karbür Kalitesi



ABSTRACT

DETERMINATION OF SUITABLE TOOL GEOMETRY AND CARBIDE QUALITY FOR CARBIDE END MILLS USED IN MECHANIC OPERATIONS OF HARDENED STEELS

Hardening operation of steels is an operation applied for the purpose of using the material in cases where the hardness, strength and wear resistance of the material is required. Especially in the mold making sector, the hardening operation of the molds used in hot forging operations is applied to the steel in order to increase the strength in cases such as abrasion, hardness, mold softening of the molds brought to the desired geometry. With this operation, the hardness of the mold reaches 50-52 HRC. After the mold is hardened, the mold is given its final geometry by machining operation, or the molds soften after forging operations and go through machining operations in order to be reprocessed and regain their old properties as a result of losing their properties. However, the high hardness of the mold makes it difficult to process these molds. Therefore, it is desired that the cutting tools used in the machinability of these molds have high performance. Milling operation is one of the most used machining operations in the mold making industry. Ballnose End Mill is one of the cutting tools used to give the final mold form in the milling operation. CBN tools are generally used for machining molds with high hardness. However, due to the difficulties in producing these tools, the use of these tools is seen as a disadvantage due to the high costs of the tools. In this thesis study, by using carbide Ballnose End Mill, studies on carbide quality that will provide optimum tool geometry and high wear resistance to be used in hardened steels are carried out to achieve optimum tool performance by improving tool performance and life, and by minimizing tool costs, the tool cost, which is among the molding costs, can be reduced to acceptable levels. is to draw. Within the scope of the thesis, first of all, the features and geometry of the cutting tools to be used in hardened steels will be revealed with theoretical studies. Then, the design and manufacture of the cutting tools will be carried out in the parameters determined for the geometry, and it will be checked whether the tool geometries of the desired quality are obtained. The tool performances of these tools will be compared together with the experimental studies, and it is planned to make the optimum tool selection by taking into account the desired quality and tool performance in the machining

operation by producing the optimum geometry tool with different carbide grades and performing tool life testing.

Keywords: Machining, Hardened Steel, Cutting Tool Geometry, Carbide End Mill, Carbide Grade



SEMBOLLER

ap	: Kesme derinliği (mm)
f	: İlerleme değeri (mm/dev)
V_c	: Kesme hızı (m/dak)
N	: Devir (dev/dak)
Ra	: Yüzey pürüzlülüđu
F_c	: Esas kesme kuvveti (N)
F_r	: Radyal kuvvet (N)
F_f	: İlerleme kuvveti
VB_c	: Burun aşınması
HRC	: Rockwell sertliği
Cr	: Krom
Mo	: Molibden
W	: Tungsten
Nb	: Niyobyum
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
N	: Nikel
Mn	: Manganez
C	: Karbon
Co	: Kobalt
γ	: Eksenel Talaş Açısı
$\emptyset$	: Çap

KISALTMALAR

sn	: Saniye
dk-dak	: Dakika
HRC	: Rockwell Sertliği
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Takım çeliği için ısıtıl işlem akışı (Totten, 2007).....	3
Şekil 1.2.	Frezelemede kullanılan operasyonlar.....	7
Şekil 1.3.	Frezeleme operasyonlarında kullanılan farklı kesici takımlar.....	8
Şekil 1.4.	Freze Kesme Çapı Gösterimi.....	9
Şekil 1.5.	Helis açısı gösterimi.....	9
Şekil 1.6.	Frezede bulunan flute (oluk) gösterimi.....	10
Şekil 1.7.	Frezede yanal işlemede oluşan geometriler.....	10
Şekil 1.8.	Frezede bulunan farklı flute sayısı.....	10
Şekil 1.9.	Frezede flute sayısına bağlı core (öz) çapının değişimi.....	11
Şekil 1.10.	Frezede bulunan farklı relief (boşaltma) açıları.....	11
Şekil 1.11.	Frezede, altında bulunan Gash kanalları.....	12
Şekil 1.12.	Frezede farklı büyüklükte bulunan Gash gösterimi.....	12
Şekil 1.13.	frezede altında bulunan axial relief açıları.....	13
Şekil 1.14.	Frezede bulunan Gash ve Dish Angle (açısı) gösterimleri.....	13
Şekil 2.1.	E38-K deney numunesi ait 3d katı model ve üretilmiş deney numunesi.....	14
Şekil 2.2.	E38-K deney numunesi ait boyutsal ölçüler.....	14
Şekil 2.3.	E38-K deney numunesi ait mikroyapı görüntüsü.....	15
Şekil 2.4.	Ø12 Ballnose end mill taş paketi.....	16
Şekil 2.5.	Ø12 Ballnose End Mill taş paketi ölçüleri.....	17
Şekil 2.6.	Flute operasyonu	17
Şekil 2.7.	Raised Land operasyonuna	18
Şekil 2.8.	Kabalama operasyonuna	18
Şekil 2.9.	Gash operasyonu.....	19
Şekil 2.10.	OD ve End Face operasyonu.....	19
Şekil 2.11.	Ø12 Ballnose End Mill tasarımı	20
Şekil 2.12.	ANCA FX-7 5 Eksen cnc takım bileme tezgâhı.....	20
Şekil 2.13.	Ø12 Ballnose end mill üretimi.....	21
Şekil 2.14.	Sem Analizi.....	22
Şekil 2.15.	SEM analizinde elementlerin dağılım grafiği.....	23
Şekil 2.16.	Zoller Genius takım ölçüm cihazı.....	25
Şekil 2.17.	Ballnose end mill de bulunan farklı axial rake angle gösterimleri.....	26
Şekil 2.18.	Ballnose end mill de bulunan axial rake angle gösterimleri.....	27

Şekil 2.19. Mikroyapı ve Edge Radius Görüntülerinin Alındığı Dijital Optik Mikroskop.....	29
Şekil 2.20. Optik mikroskopta 3D yuvarlanma yarıçapı görüntüleri.....	29
Şekil 2.21. Optik mikroskopta yuvarlanma yarıçapının alındığı bölge.....	30
Şekil 2.22. Optik mikroskopta 2D yuvarlanma yarıçapının değeri verilmektedir.....	30
Şekil 2.23. Üretimi tamamlanmış ve kaplanmış takım.....	31
Şekil 2.24. Takıma ait optik mikroskopta alınmış alın görüntüsü.....	31
Şekil 2.25. Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi.....	32
Şekil 2.26. Ø12 ballnose ve hidrolik tutucu.....	33
Şekil 2.27. Talaşlı İmalat Deney Düzeneği.....	34
Şekil 2.28. Deney çalışmasındaki talaş kaldırma sistematığı.....	34
Şekil 2.29. Küresel başlı frezelerdeki talaş kaldırma sistematığı.....	35
Şekil 2.30. Küresel başlı frezelerde talaş kaldırma operasyonunda etki eden kuvvetler...	35
Şekil 2.31. Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı.....	36
Şekil 2.32. Küresel başlı takıma ait farklı Axial rake angle bölgeleri.....	37
Şekil 3.1. Değişen Center axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri.....	40
Şekil 3.2. Değişen Middle axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri.....	41
Şekil 3.3. Değişen OD axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri...	41
Şekil 3.4. Center axial rake değeri optimumda (-2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği.....	42
Şekil 3.5. Middle axial rake değeri optimumda (2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği.....	42
Şekil 3.6. OD axial rake değeri optimumda (6°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği.....	43
Şekil 3.7. Değişen Center axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.....	46
Şekil 3.8. Değişen Middle axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.....	46
Şekil 3.9. Değişen OD axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.....	47
Şekil 3.10. Center axial rake değeri optimumda (-2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği.....	48
Şekil 3.11. Middle axial rake değeri optimumda (2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği.....	48

Şekil 3.12. Od axial rake değeri optimumda (6°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği.....	48
Şekil 3.13. Optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen Center bölgesindeki aşınma görüntüleri	52
Şekil 3.14. 8400 mm K55F kalite takıma ait center bölgesinde oluşan aşınmanın optik mikroskop altındaki görüntüsü	53
Şekil 3.15. 8400 mm DK 225F kalite takıma ait center bölgesinde oluşan aşınmanın optik mikroskop altındaki görüntüsü	53
Şekil 3.16. optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen Middle bölgesindeki aşınma görüntüleri.....	54
Şekil 3.17. Optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen OD bölgesindeki aşınma görüntüleri.....	55
Şekil 3.18. OD bölgesinde takım ömrünü tamamlamış takımlara ait optik mikroskopta alınmış yanal aşınma görüntüleri.....	56

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. AISI standartlarına göre takım çeliklerinin sınıflandırılması (Totten, 2007).....	1
Tablo 1.2. Çeşitli H grubu takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (Roberts vd., 1997).....	2
Tablo 1.3. Sertleştirilmiş çeliklerin farklı uygulamalardaki işleme karakteristikleri.....	4
Tablo 2.1. E38-K malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu [20].....	15
Tablo 2.2 E38-K malzemesine ait mekanik özellikler [20].....	15
Tablo 2.3. Fx-7 Linear 5 eksen bileme tezgahı özellikleri.....	21
Tablo 2.4. Karbür hammaddesine ait teknik veriler.....	22
Tablo 2.5. SEM analiz sonucu elementlerin % dağılımı.....	23
Tablo 2.6. Zoller Genius 3s tezgahına ait özellikler.....	24
Tablo 2.7. Ø12 Ballnose End Mill takım ölçüm sonuçları.....	26
Tablo 2.8. Ø12 Ballnose end mill axial rake angle ölçüm değerleri.....	27
Tablo 2.9. Keyence VHX-6000 Digital Mikroskobun Teknik Özellikleri.....	29
Tablo 2.10. Kaplama öncesi ve sonrası yuvarlanma yarıçapları (Edge radyus).....	29
Tablo 2.11. TiAlN kaplama özellikleri.....	30
Tablo 2.12 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri.....	32
Tablo 2.13. Talaşlı imalat testleri için belirlenen kesme koşulu ve parametreleri.....	33
Tablo 2.14. Yüzey pürüzlülüğü cihaz özellikleri.....	36
Tablo 3.1 Farklı Axial rake angle bağlı olarak takımlar meydana gelen kuvvet değerleri.....	38
Tablo 3.2. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri kuvvet değeri baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 5 takıma ait değerler.....	43
Tablo 3.3. farklı Axial rake angle bağlı olarak iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri.....	44
Tablo 3.4. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri yüzey pürüzlülüğü baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 5 takıma ait değerler.....	49
Tablo 3.5. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 4 takıma ait değerler.....	50
Tablo 3.6. 3 farklı karbür kalitesine ait ham malzeme özellikleri.....	51
Tablo 3.7. 3 Takım ömrü deneyleri için kullanılan parametreler.....	51

1. GİRİŞ

Çelik malzemelerin endüstriyel uygulamalarında hem aşınma dirençlerinin hem de darbe dayanımlarının yüksek olması istenir. Bu yüzden çeliklere su verme ve temperleme gibi ısı işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemler sayesinde çeliklerin mekanik özelliklerinde iyileştirmelerde sağlanmaktadır. Su verme ve temperleme işlemleri uygulanarak iç yapısında martenzit ve beynit oluşturulan bu çelikler, yük altında daha fazla dayanım, tokluk ve kopma olmadan deformasyon kapasitesine sahip olmasıyla nitelendirilir [1].

Çelik malzemeleri kendi içerisinde sınıflandıracak olursak takım çelikleri bunlardan bir tanesidir ve sertleştirme operasyonun sık uygulandığı çelik sınıflarındandır. Takım çelikleri, diğer mühendislik malzemelerinin şekillendirilmesinde kullanılan çeliklerdir. Kullanım yerine uygun olarak, yüksek sertlik ve aşınma dayanımı, iyi kesme kabiliyeti, yüksek sıcak sertlik, sıcakta dayanım, mekanik özelliklerin yüksek sıcaklarda korunabilmesi gibi özelliklere sahiptirler. Takım çeliklerinin sahip olabileceği bu özellikler, içerdiği alaşım elementleri, yapıda oluşan fazlar ve ısı işlemlerin mikroyapıda yarattığı çeşitli etkiler ile sağlanmaktadır. Takım çelikleri, alaşımsız takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri ve yüksek hız takım çelikleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çelik türlerinden sıcak iş takım çelikleri; dövme, sıcak ekstrüzyon, demir dışı metallerin dökümü gibi çeşitli yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Bu uygulamalarda kullanılan sıcak iş takım çeliklerinden sıcak sertlik, sıcakta dayanım, mekanik özelliklerin yüksek sıcaklarda korunabilmesi gibi özellikler beklenmektedir. Takım çelikleri, genel olarak kullanım yerlerine göre sınıflandırılır. Sınıflandırma; dövme, soğuk şekillendirme, döküm işleminde kalıp malzemesi olarak kullanılması gibi çeşitli başlıklar altında toplanır [2].

Tablo 1.1. AISI standartlarına göre takım çeliklerinin sınıflandırılması (Totten, 2007)

Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması	
Grup	Gösterim
Suda Sertleşen Takım Çelikleri	W
Darbe Dayanımlı Takım Çelikleri	S
Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	O
Havada Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	A
Yüksek C ve Cr İçeren Soğuk İş Takım Çelikleri	D
Kalıp Çelikleri	P
Sıcak İş Takım Çelikleri	H
W İçeren Hız Çelikleri	T
Mo İçeren Hız Çelikleri	M

Sıcak iş takım çelikleri, yüksek sıcaklık uygulamaları için tasarlanmış çeliklerdir. AISI standart sisteminde, H grubu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Tablo 1.2’de çeşitli sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimini göstermektedir.

Tablo1.2. Çeşitli H grubu takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (Roberts vd., 1997)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
H11	0,33	0,20	0,80	4,75	0,30	1,10	-	0,30
	-	-	-	-	(m.)	-	-	-
	0,43	0,50	1,20	5,50	-	1,60	-	0,60
H12	0,30	0,20	0,80	4,75	0,30	1,25	1,00	0,50
	-	-	-	-	(m.)	-	-	(m.)
	0,40	0,50	1,20	5,50	-	1,75	1,70	-
H13	0,32	0,20	0,80	4,75	0,30	1,10	-	0,80
	-	-	-	-	(m.)	-	-	-
	0,45	0,50	1,20	5,50	-	1,75	-	1,20
H21	0,26	0,15	0,15	3,00	0,30	-	8,50	0,30
	-	-	-	-	(m.)	-	-	-
	0,36	0,40	0,40	3,75	-	-	10,00	0,60
H22	0,30	0,15	0,15	1,75	0,30	-	10,00	0,25
	-	-	-	-	(m.)	-	-	-
	0,40	0,40	0,40	3,75	-	-	11,75	0,50
H42	0,55	0,15	-	3,75	0,30	4,50	5,50	1,75
	-	-	-	-	(m.)	-	-	-
	0,70	0,40	-	4,50	-	5,50	6,75	2,20

Sıcak iş takım çeliklerinden beklenen temel özellikler, yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında sertliklerini koruyabilmeleri ve yumuşamaya karşı dirençli olmalarıdır. Sıcak iş takım çeliklerinden beklenen genel özellikler ise şu şekilde sıralanabilir:

Kullanım sıcaklığında deformasyona karşı dayanım: Bu özellik, sıcak iş takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda kullanılmasından dolayı oldukça önemlidir. Parçanın ömrünün ortaya çıkmasında oldukça önemlidir.

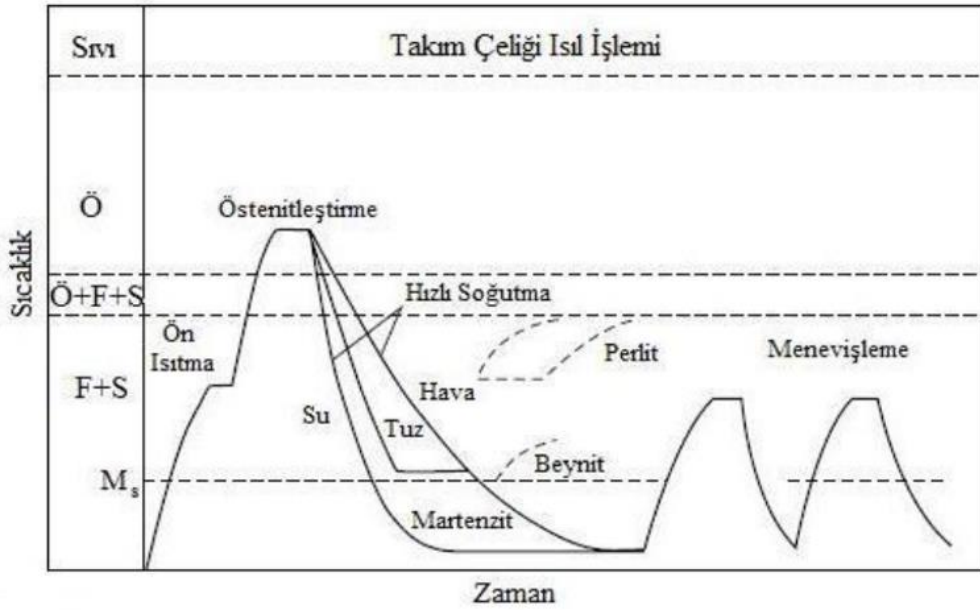
Isıl ve mekanik şoklara karşı dayanım: Mekanik ve ısı şoklarına karşı yüksek direnç yanında, çentik darbe dayanımının da oldukça yüksek olması istenir. Bu özellikler ile, çatlak oluşumu ve hasar mekanizmalarının gelişmesi engellenmiş olur.

Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanım: Malzemenin, erozyon ve yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek aşınmaya karşı dirençli olması istenir. Kalıp ve takım ömrünün, uzun olabilmesi için istenen başlıca özelliklerdendir. Bu özelliğin yüksek olmasının istendiği kullanım yerlerinde, özel çelik bileşimleriyle yüksek sertlikler elde edilir. Tokluk değerlerinde bir miktar düşüş görülmesine rağmen, oldukça yüksek aşınma dayanımları elde edilmiş olur.

İşlenebilirlik: Parçanın, istenen şekil ve boyutlara getirilebilmesi için işlenebilirliğinin iyi olması istenir. Birincil üretim sırasında sağlanan homojen mikroyapı ile işlenebilirlik özelliği arttırılabilmektedir[2].

Isıl işlemler takım çeliklerinin özellikleri temel olarak uygulanan ısıtma işlemiyle ilişkilidir. Takım çeliklerine uygulanan ısıtma işlemleri üç aşamada uygulanır: (i) östenit yapısını oluşturmak amacıyla, östenit sıcaklığına ısıtma, (ii) östeniti martenzite dönüştürmek amacıyla hızlı soğutma, (iii) martenzit yapısını değiştirmek, karbür yapılarını oluşturmak ve artık östeniti gidermek amacıyla menevişleme

Şekil 1.1’de de görüldüğü gibi, östenitleştirme işleminin uygulandığı sıcaklık ve bu işlem sonrasında oluşan soğuma hızı ile ortaya çıkan fazlar takım çeliğinin özelliklerini belirler. Yüksek alaşım elementi içeriğine sahip olan takım çeliklerinde, havada soğutma ile martenzit fazı elde edilebilir. Daha düşük değerlerdeki soğuma hızı ile beynit veya ferrit-perlit yapısı da elde edilebilir. Hızlı soğutma işleminin ardından, oluşan martenzitin kırılganlığını azaltmak ve yapının içerdiği artık östenit miktarını azaltmak amacıyla menevişleme uygulanır.



Şekil 1.1 Takım çeliği için ısıtma işlemi (Totten, 2007)

Takım çeliklerine uygulanan sertleştirme işleminin temel amacı menevişlenmiş martenzit yapısını oluşturmaktır. Sertleştirme işlemi, östenit yapısının elde edilmesi, hızlı soğutma ile martenzit oluşturulması ve hızlı soğutulan yapının menevişlenmesi olmak üzere 3

aşamadan oluşur. Ayrıca, bey nit yapısını oluşturmak ya da martenzit dönüşümü öncesi malzeme içerisindeki sıcaklık farklarını gidermek amacıyla, östemperleme ya da martemperleme de uygulanabilir (Krauss, 2005).

Sertleştirilmiş çelik malzemeler için uygulanabilen uygun maliyetli işleme süreçleri, günümüzde bu malzemelere takım, otomotiv ve uçak gibi endüstrilerde yüksek talep nedeniyle büyük ilgi görmektedir [3-4].

Sertliği 45-65 HRC aralığında olan sertleştirilmiş çeliklerin uygulamaları ve işleme özellikleri Tablo 1.3'te verilmiştir. Bu sertleştirilmiş çelikler, temperlemeye karşı yüksek dirençle birlikte iyi boyutsal stabiliteye sahiptir. Ancak bu malzemelerin işlenmesi, kesilmesi zor malzemeler olarak kabul edilir ve doğru kesme koşullarının seçilmesine özen gösterilmesi gerekir[5].

Tablo 1.3. Sertleştirilmiş çeliklerin farklı uygulamalardaki işleme karakteristikleri

Sr. No.	Material categories	Applications	Machining Characteristics
1	Case hardened steels (55 – 62 HRC)	Gears, shafts, bearings, nozzles, bushes, clutch sleeves and constant velocity (CV) joints.	While machining of these steels it is important to make sure that machining is taking place in the hard case zone as machining into the soft core may reduce the cutting tool performance. Mostly, PCBN and ceramic tools are preferred for machining.
2	Bearing steels (58– 62 HRC)	Bearing housings, roller bearings, fuel injector nozzles, ball bearings and hub units.	Bearing steels are slightly hyper eutectic with a carbon content of about 1%. The microstructure is martensitic with embedded carbides. Due to the abrasiveness of the material, wear resistant grades, mostly, PCBN and ceramic tools are preferred for machining.
3	Cold work tool steels (45–65 HRC)	Cold extrusion tools, stamping tools, dies, punches and tools for the manufacture of screws, nuts and bolts.	Cold work tool steels are highly abrasive and the embedded carbides lead to increase crater wear on cutting tools. These steels are difficult to machine as they are wear resistant and a lot of heat is generated during machining.
4	Hot work tool steels (45–58 HRC)	Extrusion dies, tool and dies, punches and drop forging dies.	These steels are known for high hot tensile strength, toughness and wear resistance. Most of the alloying elements in these steels are carbide formers. Tool wear is mostly dominated by crater wear and edge chipping.
5	High manganese steels (200–400 BHN)	Crushing cones, railway components, deflector plates and mineral processing equipment.	These steels have a tendency to work harden. Always machine beneath the skin of the component as tool wear accelerates during machining of the actual skin. Tool life reduces by using too low feed rates and notching occurs when using higher feed rates.
6	High tensile steels (45– 56 HRC)	Jet engine mounting, Helicopter camshaft gears, landing gear components and air frame fittings.	These steels are known for their toughness and capability of obtaining high tensile strength in the heat treated condition. It is suggested to use low cutting speeds, sharp positive tool geometries to prevent surface abuse and carbon depletion.
7	High speed steels (HSS) (58–66 HRC)	Tool and dies, thread rolling dies, pressure rolls, high temperature bearings, metal cutting tools such as milling cutters, drills, taps, and threading dies.	These steels known for high strength, hardness, good wear resistance and high edge sharpness. A high abrasion resistance and toughness characteristic of these steels generates high temperatures at the cutting edge. Most dominant wear modes are crater wear and notching which can be reduced by lowering the cutting speed and the feed rate, respectively.

Sertleştirilmiş çelik kalıplar, dövme, basınçlı döküm, enjeksiyonlu kalıplama için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kalıplar geleneksel olarak yumuşak çeliğin işlenmesi, çeliğe ısıtıl işlem uygulanması ve ardından kalıbın bitirilmesiyle üretilmiştir. [6].

Sertleştirilmiş çelikler kalıp imalatında yüksek sertlikleri, yüksek mukavemetleri ve iyi aşınma direnci nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertleştirilmiş çelik parçaları bitirmenin geleneksel çözümü taşlamadır. Bununla birlikte, taşlamanın düşük üretim hızı, karmaşık formları işleyememesi ve yüksek maliyet gibi birçok dezavantajı vardır. Bu durumlar göz önüne alındığında sert malzemelerin işlenmesi konusu ortaya çıkmaktadır [7]. Bununla birlikte, sert işleme, yüksek kesme kuvvetlerine ve kesme sıcaklığına sebep olmaktadır. Bu da kesici takımlar için daha yüksek performans gereksinimi ortaya çıkarmaktadır [8].

Sert işleme olarak da adlandırılan sert malzemelerin işlenmesi, onlarca yıldır büyük bir zorluk haline geldi. Sert işleme, üretkenliği artırma, esnekliği artırma, sermaye giderlerini azaltma ve çevresel atığı azaltma kapsamında taşlama ve elektrik deşarjlı işlemeye potansiyel olarak bir alternatif olabilir [9]. Sert işleme için iş parçası malzemesinin iyi işlenebilirliğe sahip olması önemlidir. Bir iş parçası malzemesinin işleme kabiliyetinin belirlenmesinde kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi büyük önem taşır. Kesme kuvvetleri, kesme işlemi, takım aşınması, iş parçası malzemesi, takım tutucu, sabitleme elemanları ve takım tezgahının kendisi sert malzemelerin işlenebilirliğini etkiler [10]. Düşük kesme kuvvetleri, yüksek malzeme kaldırma oranı, iyi yüzey bütünlüğü, doğru ve tutarlı iş parçası geometrik özellikleri ve düşük takım aşınma oranı, bir malzemenin yüksek işlenebilirliğini gösterir [11].

Sertleştirilmiş takım çeliklerinin işlenmesi, malzemenin yüksek mukavemeti nedeniyle zor bir işlem olarak kabul edilir. Sert işleme süreçlerinde malzeme kaldırmanın termomekanik olgusunu tahmin etmek ve kontrol etmek, yalnızca talaş segmentasyonunu etkileyen işlenmiş malzeme sertliği nedeniyle değil, aynı zamanda ilgili küçük kesilmemiş talaş kalınlığı ve genellikle daha yüksek işleme hızı nedeniyle de zordur. Kesme kuvvetlerinin büyüklüğü, işleme sırasında malzeme deformasyonu ve talaş oluşumunda önemli bir rol oynar. [12].

Sertleştirilmiş çeliğin, tipik olarak 50 ila 65 HRC arasında değişen bir sertliğe sahip, işlenmesi zor bir malzeme olduğu bilinmektedir. Sertleştirilmiş çeliklerin aşınma direnci

nedeniyle, bu malzeme her türlü yüksek sertlikte ve yüksek aşınma direncine sahip kalıpların ve temel bileşenlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek mukavemetli sertleştirilmiş çeliği yüksek hızlı frezelemeye gönderirken, testere dişi talaş oluşumu ve iş sertleştirme fenomeni, kesici takımlar üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kesme kuvveti, kesme gücü ve kesme sıcaklığı önemli ölçüde artar ve uç bölgesindeki stres yoğunlaşır, bu da takımın kolayca ve zamanından önce aşınmasına ve ömrünün dolmasına neden olur [13-14]

Sertleştirilmiş çeliklerin PCBN ve seramik aletlerle işlenmesi, yaygın olarak maliyetli taşlama işlemlerine en iyi alternatif olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, sinterlenmiş karbür kalitelerindeki, kaplama malzemeleri ve kaplama biriktirme teknolojilerindeki gelişmeler, pahalı PCBN ve seramik aletlere ekonomik bir alternatif olarak kaplamalı karbür takımları kullanarak sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi alanında birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir [15-16].

Kalıpçılıkta üç genel sert frezeleme takımı kullanır: yekpare karbür parmak frezeler, değiştirilebilir karbür uçlar ve en son olarak seramik değiştirilebilir uçlar. Bu araçların her birinin uygulamaya bağlı olarak güçlü ve zayıf yönleri vardır. Yekpare karbür parmak frezeler genellikle hassas taşlanmış, kaplanmış ve oldukça pahalıdır. İkinci tip sert frezeleme takımı, değiştirilebilir karbür uçlara sahip bir kesicidir. Çoğu durumda bu uçların karbür kaliteleri ve geometrisi sert frezeleme için iyi tasarlanmamıştır ve sertleştirilmiş malzemelerde optimum takım ömrü veya üretkenlik sunmazlar.

Üçüncü tip, seramik endekslenebilir uçlardır, daha spesifik olarak kullanılan takımlardır. Değiştirilebilir seramik kesici uçlara sahip bir kesici sistemi kullanmanın faydaları arasında daha hızlı çevrim süreleri ve parça başına daha az sayıda işlem yer alır. Seramikle frezeleme için tasarlanmış kesiciler, büyük yüzeyli frezelerden güvenli, yüksek hızlı frezeleme yapabilir

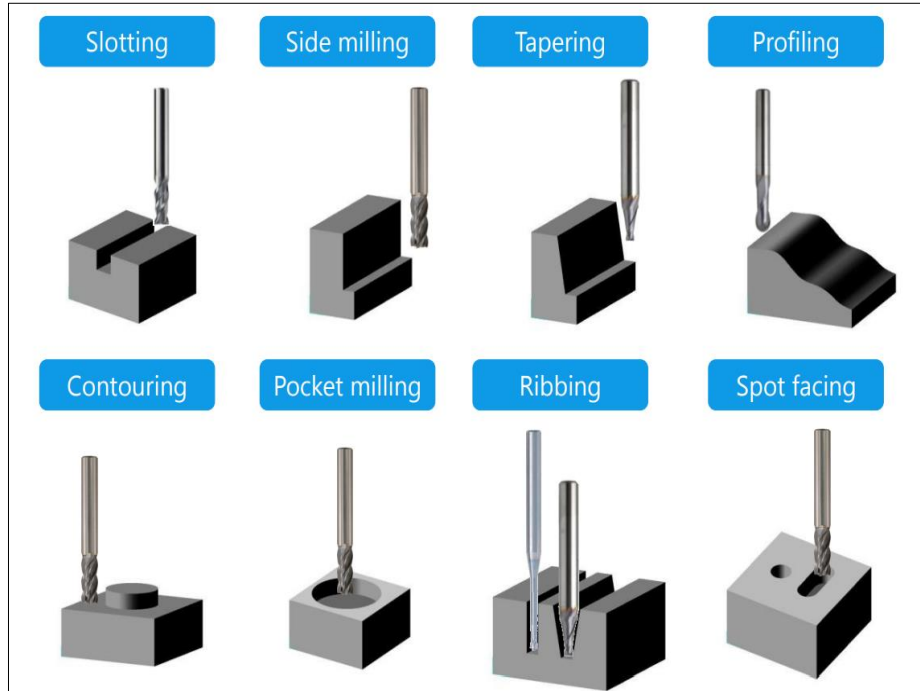
Sert kesici uç bağlama için yüksek hızda seramikle sert frezeleme için tasarlanmış kesicilerin kullanılması önemlidir. Modern seramik takımlar 2000 °C'nin üzerinde bir erime noktasına sahiptir, bu da seramik uçların karbür takımların çalışma sıcaklığının çok ötesindeki hızlarda çalışabileceği anlamına gelir. Seramik kesici uçlarla sert frezeleme uygulamaları için soğutma sıvısı tavsiye edilmez, ancak hava püskürtme önerilir [17].

Kalıpcılık sektöründe en çok kullanılan operasyon frezeleme operasyonudur. Frezeleme, çevresinde birçok kesici dişi bulunan takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ile kesme hızı gerçekleştirilmesi ve bir tabla üzerine sabitlenen iş parçasının ilerleme hareketi yaparak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmesi olarak tanımlanır. Frezeleme işlemi endüstride büyük bir öneme sahiptir. Makine, otomotiv, havacılık, kalıpcılık ve silah sanayi frezeleme işlemini yoğun olarak kullanan alanlardandır. Talaşlı imalat gereksinimlerini karşılamak amacıyla değişik özelliklerde ve boyutlarda freze tezgâhları yapılmaktadır [18].

Frezeleme biçimleri, iş parçasında oluşturduğu işlem veya takımın izlediği yol açısından bakıldığında aşağıdaki gibi adlandırılabilir;

Yüzey frezeleme, Kenar frezeleme, Profil frezeleme, Kanal frezeleme, Havşa (pah) frezeleme, Diş frezeleme, Dalma frezeleme, Lineer açılı (rampa) frezeleme, Helisel interpolasyon, Dairesel interpolasyon

Şekli 1.2’de bazı frezeleme operasyonlarında kullanılan işlemleri ait görseller verilmektedir. Kalıpcılık sektöründe özellikle sertleştirilmiş sıcak iş takımlarının ön form verildikten sonra sertleştirilmiş kalıba finish operasyonu olarak profil frezeleme yöntemi kullanılmaktadır. Bunun nedeni bu kalıpların genellikle karmaşık formlarda olması sebebiyledir.



Şekil 1.2. Frezelemede kullanılan operasyonlar

Şekli 1.2’de bahsedilen operasyonları gerçekleştirmek için farklı freze kesici takımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 1.3’te gösterildiği gibi düz, radüs, konik, küre başlı vs. birden fazla frezeleme kesici takımı mevcuttur.



Şekil 1.3. Frezeleme operasyonlarında kullanılan farklı kesici takımlar

Şekil 1.3’te belirtilen ballnose (küre başlı) yekpare karbür kesici takımlar kalıpcılık sektöründe sık kullanılan kesici takımlardır. Özellikle kalıba son şeklini vermek amacıyla tercih edilirler.

Profil frezeleme operasyonu daha öncede bahsettiğimiz gibi kalıpcılık sektöründe finish operasyonda en çok kullanılan yöntemdir ve bu operasyonu gerçekleştirmek adına en çok kullanılan kesici takımlar ise ballnose (küre başlı) freze kesici takımlar. Ballnose end mill takım türlerine baktığımızda seramik, Cbn, takma uçlu insert, karbür kesici takımlar gibi çeşitli malzemelerde kesici takımlar kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında Bahsedilen kesici takımlardan yekpare karbür ballnose (küre başlı) takım üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

Küre başlı yekpare kesici takımlarda diğer kesici takımlarda olduğu gibi işlenilecek malzeme ve operasyona bağlı olarak tasarlanıp, üretilmesi gerekmektedir.

Çalışma kapsamında şlenecek malzemenin sertliğini 52 HRC olduğunu bilmek ve bu kapsamda üretilen takımın geometrik ve karbür kalitesinin sert işlemeye uygun olması takım performansında önemli bir yer alır.

Bir frezeleme operasyonunda kullanılacak takıma ait bazı temel geometriler vardır ve bu geometriler takım performansı için önemlidir. Bu hususta aşağıda bir frezeye ait olması gereken temel geometriler ve bu geometrilere ait özelliklerinden bahsedilecektir. Tez

kapsamında üretilecek olan takımın bu kapsamda tasarlanması ve üretilmesi planlanmaktadır. Freze kesici takımlar hem yanal hem de alın talaş kaldırma işlemi yapılabilmektedir. Bu yüzden ilk olarak frezelere ait yanal geometri hakkında bilgi verilecek olup, daha sonra alın geometrisi hakkında bilgiler verilecektir.

1.1 Freze Yanal Geometrisi

1.1.1 Kesme Çapı

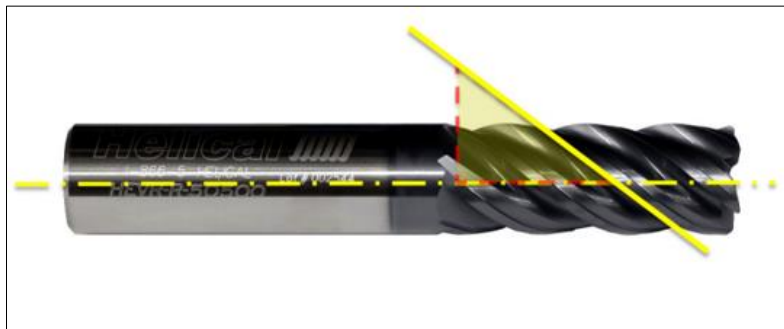
Takıma ait işleme esnasında kesme yapabileceği maksimum çap değeridir.



Şekil 1.4. Freze Kesme Çapı Gösterimi

1.1.2 Helis Açısı

Takımın merkez çizgisi ile eğim yüzünün kenarı arasında oluşan açı. Bir takımda Helis açısı büyüdükçe takım eksenel kuvveti artarak vibrasyon azalmakta ve talaş atılması daha rahat olmaktadır. Lakin takımdan daha fazla malzeme kaldırılacağı için takım dayanımı azalmaktadır. Talaş kırılabilirliğini az olan malzemelerin işlenmesinde büyük helis açısı kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Helis açısı gösterimi

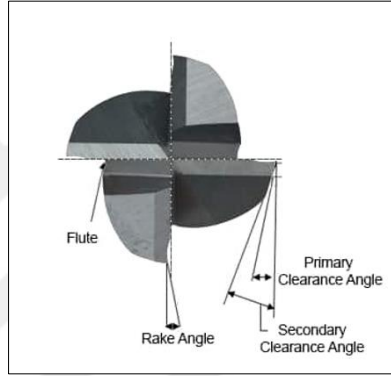
1.1.3 Flute (Oluk)

Oluklar, takımın talaş tahliyesine izin veren spiral kesici kenarlarıdır. Frezede takım yanal olarak kesme işlemi yapabilmektedir. Bu yüzden şekil 1.7’ da görüldüğü gibi yanal talaş

açısını (radial rake angle) flute operasyonunda oluşturulur. İşlenmesi kolay malzemelerin yanal talaş açısı büyük (pozitif) iken, işlenmesi sert olan malzemelerde bu değerler 0 veya eksi derecelerde olmaktadır. Ayrıca yapılacak olan operasyona bağlı olarak (kaba, finish işleme vs.) bu değerler kendi içerisinde değişkenlik göstermektedir.

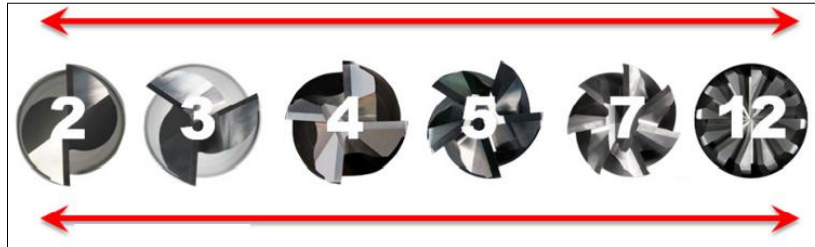


Şekil 1.6. Frezede bulunan flute (oluk) gösterimi

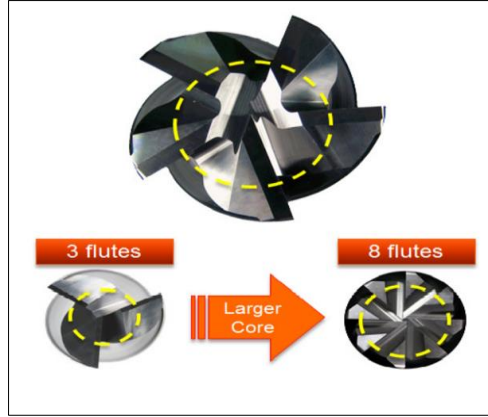


Şekil 1.7. Frezede yanal işlemede oluşan geometriler

Takımda kanal (flute) sayısı, talaş tahliyesini, takım gücünü ve kaba, finish vs. işlemeye bağlı olarak belirlenebilir. Şekil 1.8 ve 1.9 'da gösterildiği gibi daha düşük flute sayısı, daha düşük çekirdek çapı (Core Diameter) demek. Bu durum kesici takım dayanımı azaltmakla birlikte, talaş tahliyesi olan durumlarda avantaj sağlar. Daha fazla flute sayısı ise daha büyük çekirdek çapı ve daha dayanımı yüksek takım dayanımı demektir. Bununla birlikte artan kesici ağız sayısı daha iyi bir yüzey kalitesi sağlar.



Şekil 1.8. Frezede bulunan farklı flute sayısı



Şekil 1.9. Frezede flute sayısına bağlı core (öz) çapının değişimi

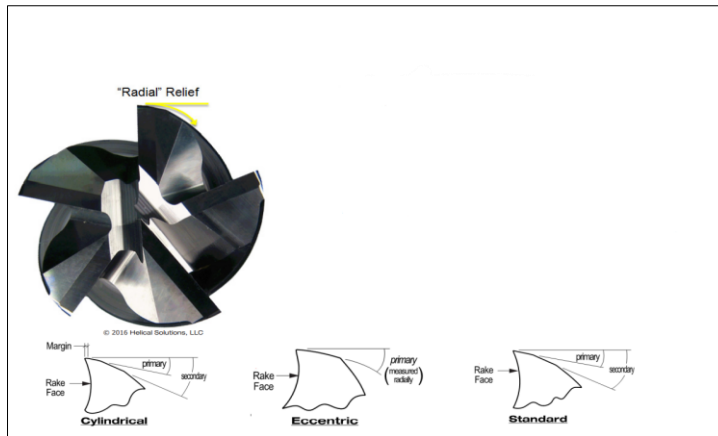
1.1.4 Yanal Boşaltma Açıları (Radial Relief Angle)

Yanal kesici ağzın iş parçasına sürtmesini engellemek için kesici ağza verilen yatırma açılarıdır. Yaygın olarak kullanılan türlerine baktığımızda şekil 1.10'da gösterildiği gibi silindirik, eksantrik ve standart boşaltma tipleri bulunur.

Silindirik boşaltma, demir dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Birincil (Primary) ve ikincil (Secondary) boşluk açısı içerir.

Eksantrik boşaltma, demir içeren ve sert malzeme işlenmesinde daha güçlü bir kesici takım dayanımı istenen durumlarda tercih edilir. Birincil (Primary) boşluk açısı içerir.

Silindirik boşaltma, demir ve sert malzeme işleme kullanılan eksantrik Relief göre nispeten daha düşük bir kesici dayanımına sahiptir. Birincil ve ikincil boşaltma açlarına sahiptir.

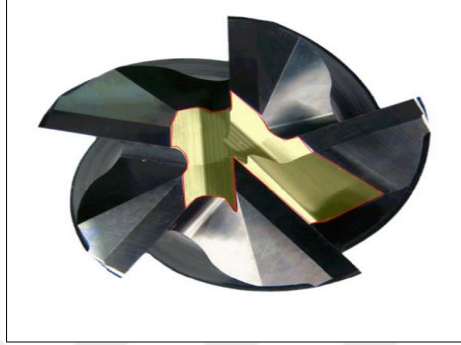


Şekil 1.10. Frezede bulunan farklı relief (boşaltma) açıları

1.2 Freze Alın Geometrisi

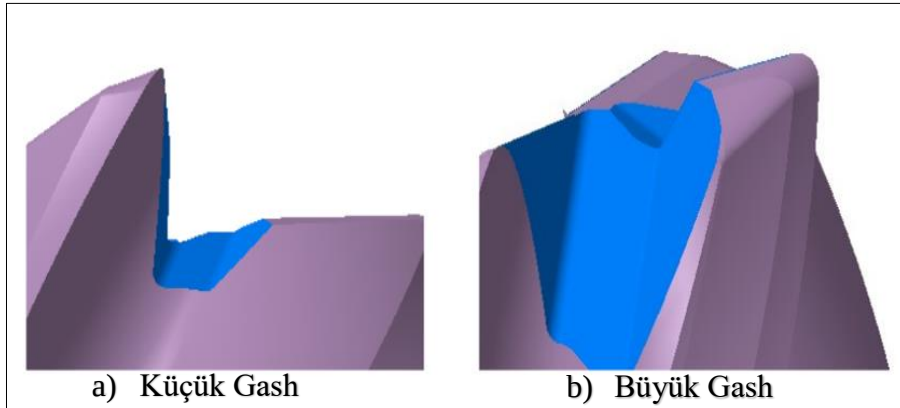
1.2.1 Gash (Yarık-Kanal)

Gash, yanalda bulunan flute (oluk) gibidir. Alında kesme yaparken ortaya çıkan talaşın atılmasını sağlar. Ayrıca takımın aksenal kesmesi için Axial rake angle (eksenel talaş açısı) bu işlemden ortaya çıkar.



Şekil 1.11. Frezede, alında bulunan Gash kanalları

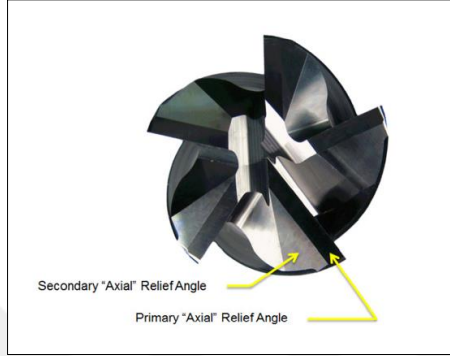
Gash, bir kesici takım için önemli bir özelliktir. Şekil 1.11'de gösterildiği gibi talaşları boşaltmak ve kırmak için kullanılır. Gash tasarımının kesici takım performansı üzerinde büyük etkileri olabilir. Şekil 1.12 (a) 'de gösterildiği gibi Gash yarığının çok küçük olması halinde talaşlar düzgün bir şekilde boşaltılamamaktadır. Daha sonra talaşlar orada birikebilir ve bitiş yüzeyini etkileyebilir. Kesme işlemi sırasında talaşlar ve talaş yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti ısı üretecektir. Daha az boşluk ile, alt kesme kenarı alanının ısı iletim hızı düşüktür. Böylece bu bölgenin sıcaklığı artacak ve yüksek sıcaklık kesici takımı yumuşatacaktır. Öte yandan, eğer boşluk büyük ise, Şekil 1.12 (b) 'de gösterildiği gibi, alt kesme kenarının mukavemeti azalacaktır. [19].



Şekil 1.12. Frezede farklı büyüklükte bulunan Gash gösterimi

1.2.2 Axial Relief (Alın Boşaltma) Açısı

Kesici takımın alın talaş kaldırma operasyonunda takımın iş parçasına sürtmesini azaltmak için kullanılan açılardır. Birincil (Primary) ve ikincil (Secondary) olmak üzere ikiye ayrılır. Bu değerler büyüdükçe kesici takım ağız dayanımı azalır. Genellikle işlenmesi kolay malzemelerde bu değerler yüksek verilirken, işlenmesi zor malzemelerde bu değerler kesici takım ağız dayanımını artırmak için daha düşük verilir.

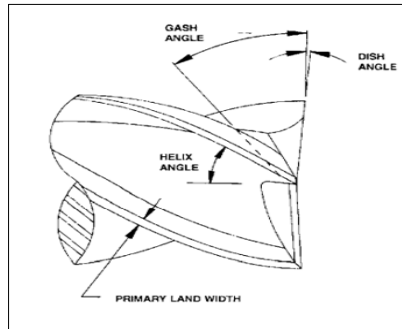


Şekil 1.13. frezede alında bulunan axial relief açıları

1.2.3 Gash ve Dish Angle

Gash açısı, talaşın yanal kanal akması için kesici takımda gash operasyonu uygulanırken verilen açıdır.

Disk angle ise, takımdan alında iş parçasına temas ettiği noktayı belirler. Eğer dish açısı fazla ise takımın belirli ilerlemede iş parçasına teması azalacaktır ve kesici azağın belirli bir kısmı iş parçası üzerinde temas ettiği için yüzey kalitesi ve takımın ağız dayanımı azalacaktır. Ters durumda takımın iş parçası üzerindeki teması artacağından yüzey kalitesinde iyileşme ve kesici takım ağız dayanımının artması sağlar.

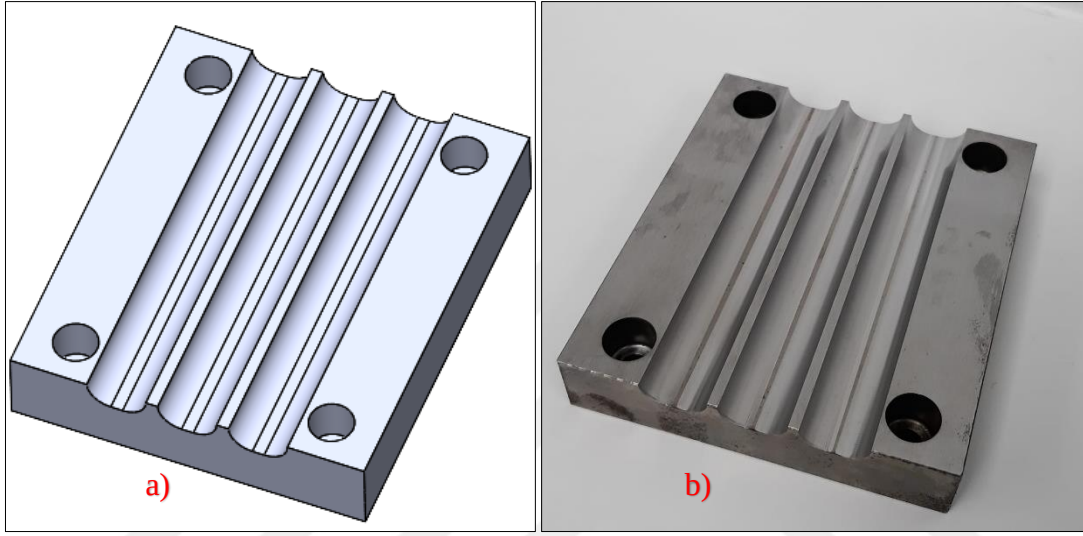


Şekil 1.14. Frezede bulunan Gash ve Dish Angle (açısı) gösterimleri

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

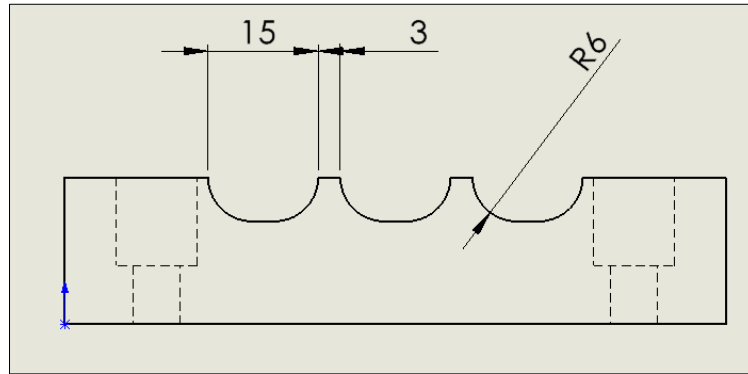
2.1 Deney Numunesi

Aşağıda şekil 2.1 görseli verilen deney numunesi E-38K olarak adlandırılan takım çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme 1.2343 sıcak iş takım çeliğinden geliştirilmiştir. Deneysel çalışma için aşağıda verilen görselde ve formda üretilen iş parçası tasarımı yapılmıştır. Deney numunesi ham ölçüleri 105x90x20 olan malzemeden üretilmiştir.



Şekil 2.1. E38-K deney numunesi ait 3d katı model ve üretilmiş deney numunesi

a) Katı model, b) Üretilmiş deney numunesi



Şekil 2.2. E38-K deney numunesi ait boyutsal ölçüler

Malzemeler sertleştirme işlemi olarak 1030° C sıcaklığında su verme işlemi uygulandıktan sonra gerilme giderilmesi için 500° C sıcaklığında temperleme işleme yapılmıştır. Bu sıcaklığında malzeme sertliği 52 HRC olarak elde edilmektedir.

Tablo 2.1 ve 2.2’ de deneylerde kullanılan iş paçasına ait fiziksel ve kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

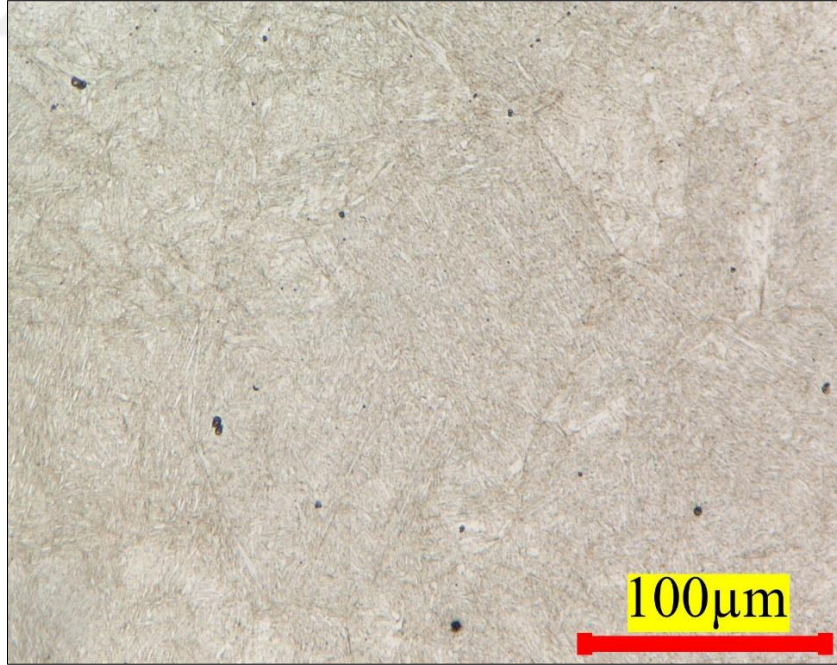
Tablo 2.1. E38-K malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu [20].

E 38-K	C	Si	S	Mn	Cr	Mo	V
% Analiz	0,35	0,3	0,003 max.	0,3	5	1,35	0,35

Tablo 2.2 E38-K malzemesine ait mekanik özellikler [20].

İş Parçası	Akma Gerilmesi (MPa)	Sertlik (HB)	Yüzde uzama (%)	Termal İletkenlik (W/m°K)
E38-K	1410-1810	44-52	12-14	24,2-30,3

Deneylerde kullanılacak olan deney parçası şekil 2.1 verildiği gibi ön şekle getirildikten sonra ısıtılma işlemine gönderilmiştir. Malzeme sertliği 50-52 HRC sertliğine getirilmiştir. Şekil 2.3’te sertleştirme operasyonu yapıldıktan sonra deney parçasına ait mikroskop altındaki mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



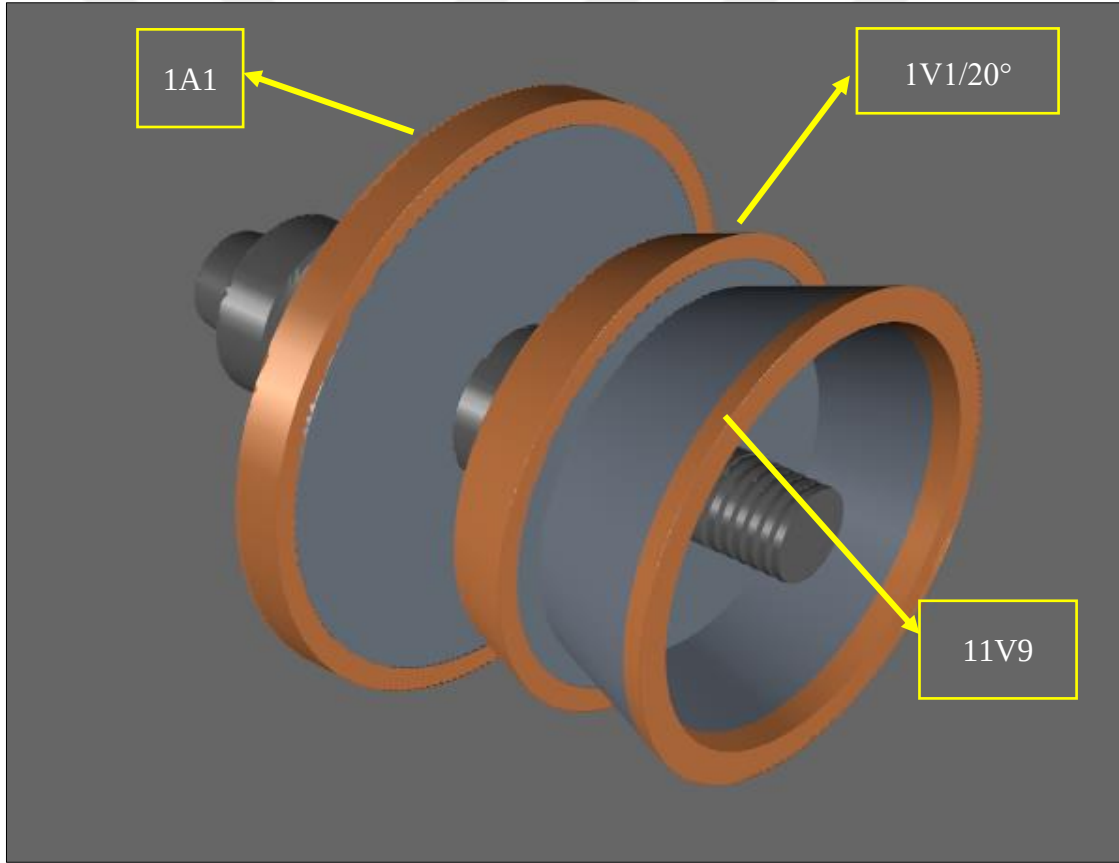
Şekil 2.3. E38-K deney numunesi ait mikroyapı görüntüsü

2.2 Takım Üretimi ve Ölçümü

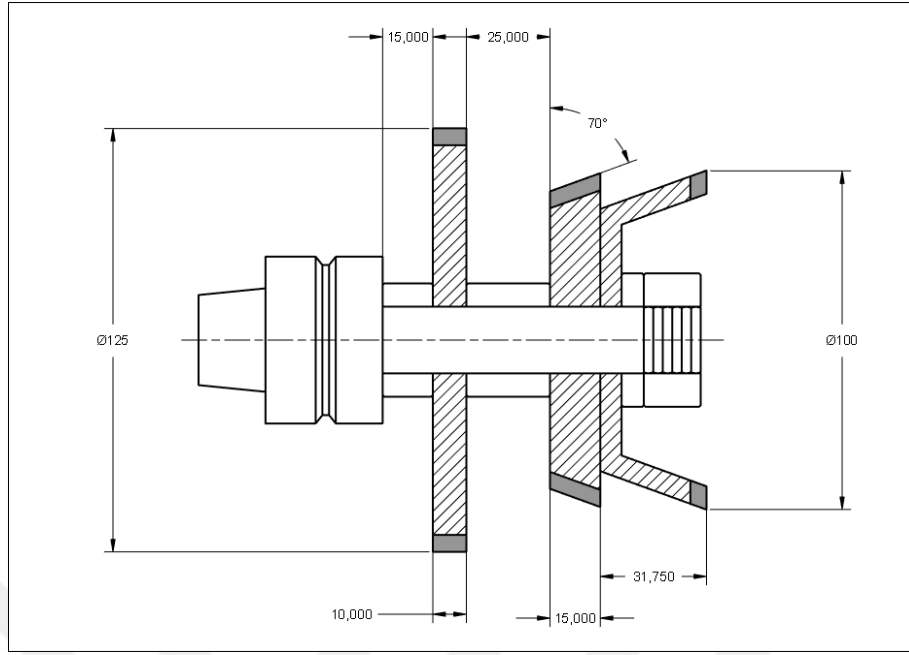
2.1.1 CAD-CAM Aşaması

İlk olarak takım üretimi yapılmadan önce Anca Toolroom CAD-CAM programı vasıtasıyla takım tasarımı ve üretim koşullarının simüle edilmesi gerekmektedir. Kullanılan CAD-CAM programı ile ilk olarak takım üretiminde kullanılacak taşlar belirlenir. Tez kapsamında Ø12 Ballnose End Mill üretimi yapılacağından bu takım üretimi için bir taş paketi oluşturulması gerekmektedir ve bu taş paketi takım üretiminde kullanılan operasyonlar baz alınarak belirlenir.

Şekil 2.4 ve 2.5'teki görselde takım üretiminde kullanılan taş paketine ait görseller ve taş türü ve boyutları verilmektedir.



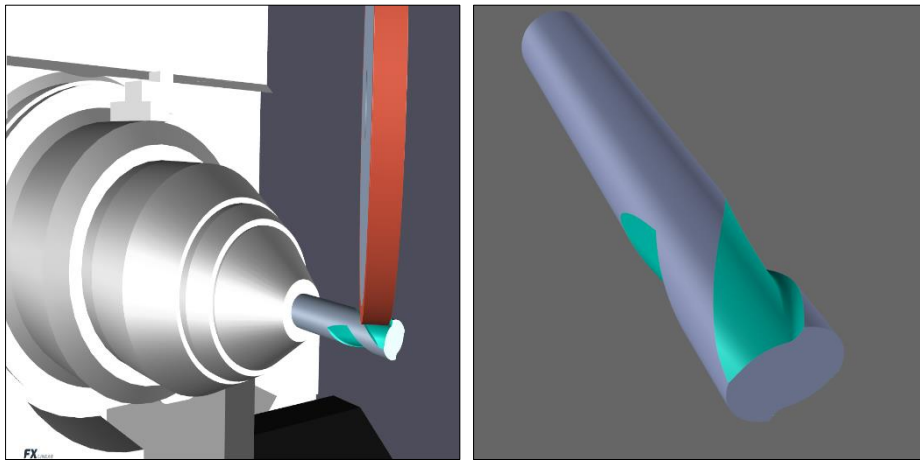
Şekil 2.4. Ø12 Ballnose end mill taş paketi



Şekil 2.5. Ø12 Ballnose End Mill taş paketi ölçüleri

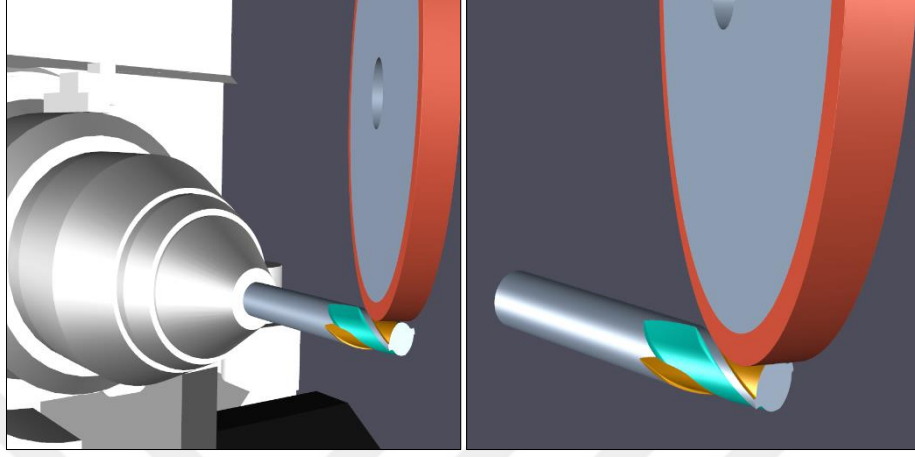
Bu taşların sırasıyla hangi operasyonlarda kullanıldığını bahsetmek gerekir ise;

İlk olarak takımın yanal olarak talaş kaldırmamasını sağlayacak ve kanal formunu oluşturan operasyon olan Flute (oluk) açma operasyonudur. Bu operasyon takım üretiminde en fazla süre alan ve takımın istenilen geometride olması için önemli bir operasyondur. Burada 1A1 Ø125x16x20 C100 D54 (Winter Marka) özelliklerine sahip taşlama taşı kullanılarak Flute operasyonu gerçekleştirilir. Ayrıca yanal talaş kaldırma açısı dediğimiz Radial Rake Angle (β -talaş açısı) bu operasyonda verilir. Şekil 2.6 'da CAD-CAM programında yapılmış Flute operasyonu verilmektedir.



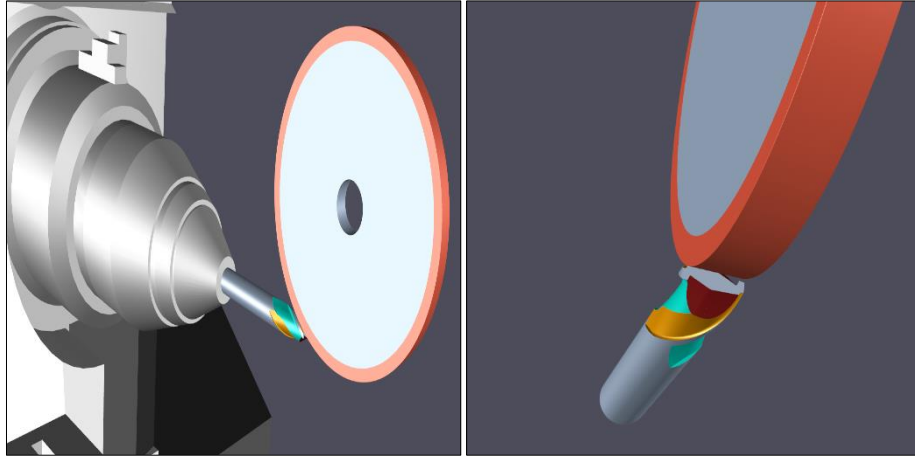
Şekil 2.6. Flute operasyonu

Sonraki operasyon Raised Land denilen takımın dönerken yanal olarak sürtmesini engellemek adına yapılan boşaltma operasyonudur. Bu operasyon 1A1 Ø125x16x20 C100 D54 (Winter Marka) taşı ile yapılmaktadır.



Şekil 2.7. Raised Land operasyonuna

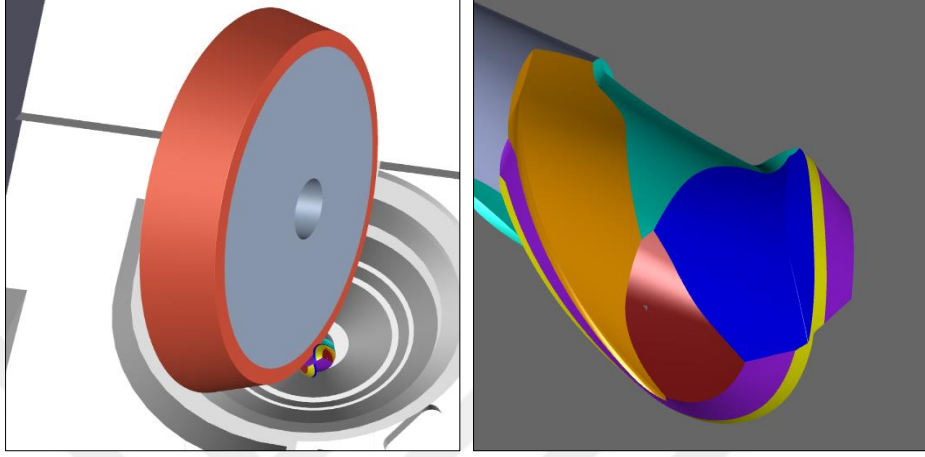
Bir sonraki operasyon plunge denilen, Gash ve End Face operasyonlarının daha rahat yapılması için uygulanan ve bu operasyonlarda kullanılan taşların formunu korumak adına yapılan kabalama operasyondur. Yine burada 1A1 Ø125x16x20 C100 D54 (Winter Marka) taşlama taşı kullanılarak fazla malzeme uzaklaştırılır.



Şekil 2.8. Kabalama operasyonuna

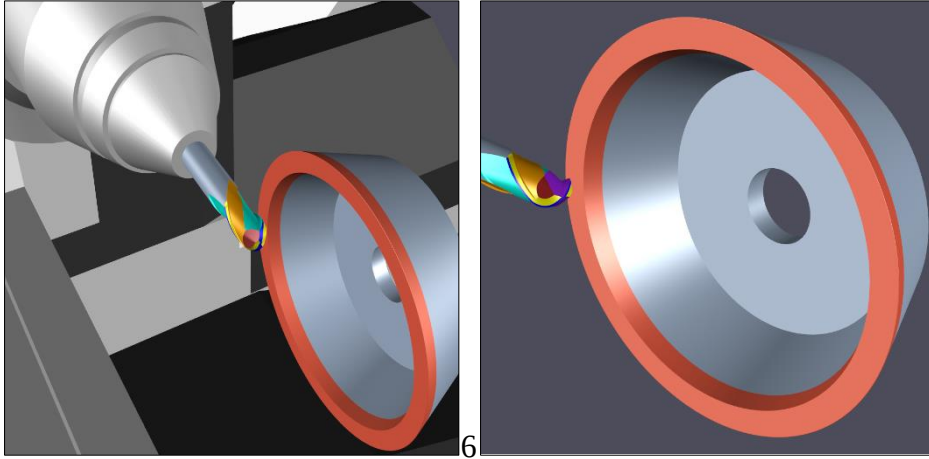
Sıradaki operasyon Gash operasyonudur. Tıpkı Flute operasyonundaki gibi kesici takımın alın talaş açısının ve alın kesmede meydana gelen talaşların atılması için takıma uygulanan operasyondur. Ballnose End Mill üretiminde bu operasyon önemlidir. Özellikle kalıpcılıkta kullanılan ballnose frezelerin performansını oluşturan bu kısım takım

geometrisinde optimum olarak belirlenmesi gerekmektedir. Tez kapsamında bu geometri üzerinden çalışmalar yapılacaktır. Burada Ø100x15x20 V20° C100 D54 (Winter Marka) kalite taşlama taşı kullanılmıştır. Ayrıca alın talaş kaldırma açısı dediğimiz Axial rake angle (γ) bu operasyonda verilir.



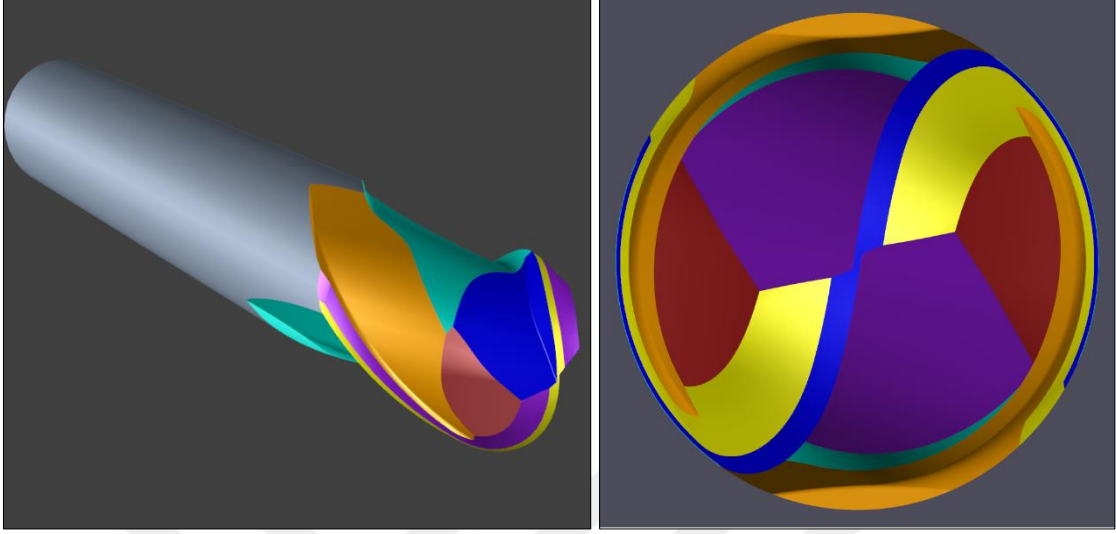
Şekil 2.9. Gash operasyonu

Son operasyon olarak OD-End Face denilen yanal ve alındaki kesici ağızların boşaltma açılarını veren operasyondur. Burada kesici takıma ait Primary (birincil) ve Secondary (ikincil) yatırma açıları verilir.



Şekil 2.10. OD ve End Face operasyonu

Şekil 2.11 'de tasarımı tamamlanmış Ø12 küresel başlı freze takıma ait görseller verilmektedir.



Şekil 2.11. Ø12 Ballnose End Mill tasarımı

2.2.1 Üretim Aşaması

Tasarımı tamamlanan takımın üretimi için CNC 5 eksen taşlama tezgâhı kullanılmıştır. Bu işlem sırasında şekil 2.12 de verilen ANCA FX-7 model takım bileme tezgahında üretim yapılmıştır.

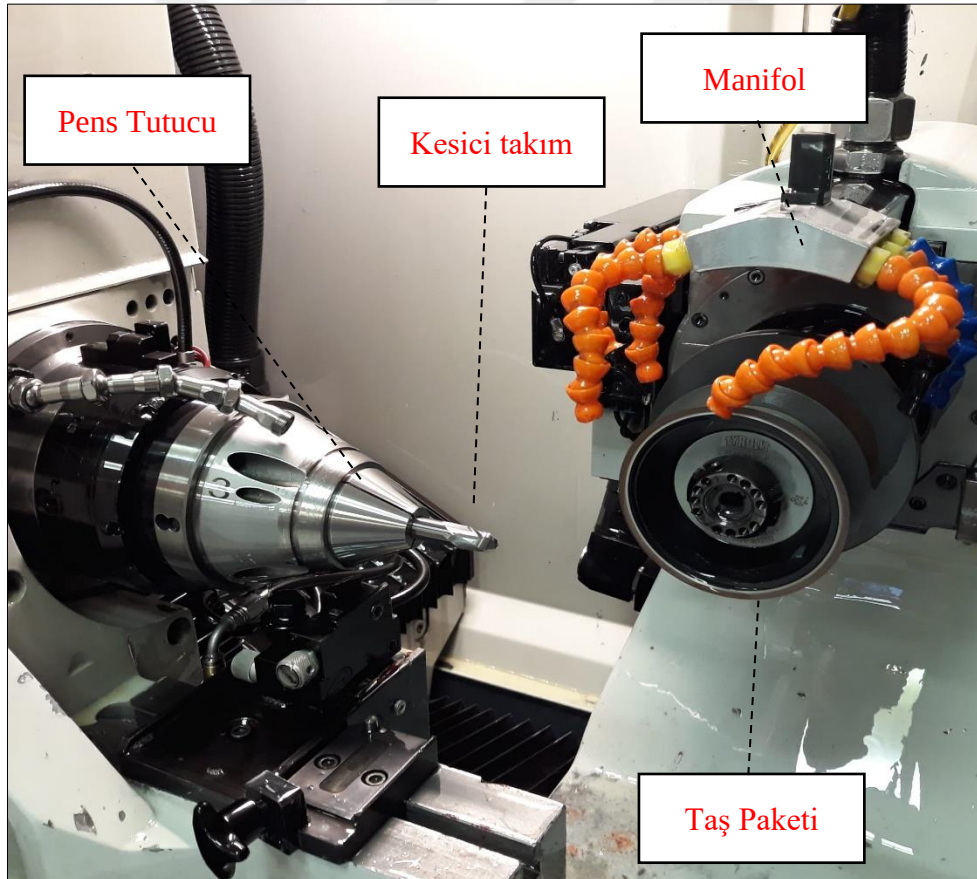


Şekil 2.12. ANCA FX-7 5 Eksen cnc takım bileme tezgâhı

Tablo 2.3. Fx-7 Linear 5 eksen bileme tezgâhı özellikleri

Taşlama Spindle	19 kW (25.4 HP) peak/10,000RPM&HSK40FTaper
Taş Paketi Kapasitesi	2 x Ø203 mm (8") max /6 x Ø203 mm (8")
Maksimum Takım Boyu	200 mm (8")
Yükleme Tipi	Fanuc robot ile takım ve taş yükleme
Takım Yüklem Kapasitesi	Fanuc robot: 840 x Ø3 mm 520 x Ø6 mm 221 x Ø12 mm
Linear Ölçek	Standard- X, Y & Z-eksen
Takım Yüklem Süresi	Fanuc robot ile 9 sn.

Şekil 2.13 'de kesici takım üretimi gerçekleştirilirken tezgâh içerisinde çekilen görüntüler verilmektedir. Kesici takım üretim süresi yaklaşık olarak 13 dk. sürmüştür.



Şekil 2.13. Ø12 Ballnose end mill üretimi

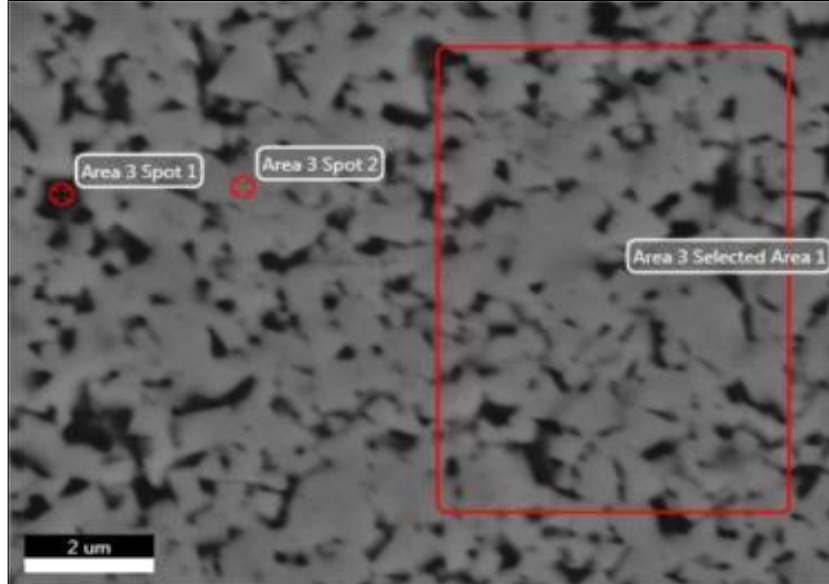
2.2.3 Karbür Ham Malzeme

Ballnose End Mill Üretiminde Ø12x82 mm ölçülerinde K20-30 kalite karbür çubuk kullanılır. Karbür çubuğa ait mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 2.4’ de verilmektedir.

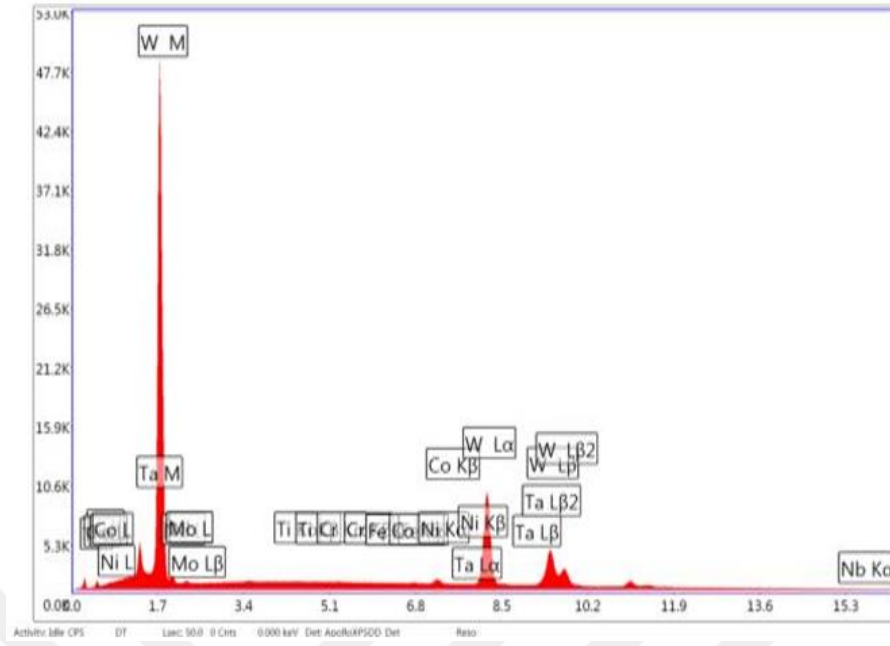
Tablo 2.4. Karbür hammaddesine ait teknik veriler

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Değerler
Co %	12
WC %	88
Yoğunluk (g/cm ³)	14.05
Sertlik (HV30)	1690
Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})	10.4
Ortalama tane boyutu	0.5
Enine kopma Mukavemeti (N/mm ²)	4200
ISO Sınıfı	K20-K30

Şekil 2.14 ve 2.15’te verilen kesici takım üretiminde kullanılan K20-30 kalite ham karbür çubuğa ait SEM analiz görüntüleri ve elementlerin % dağılımları verilmektedir.



Şekil 2.14. Sem Analizi



Şekil 2.15. SEM analizinde elementlerin dağılım grafiği

Tablo 2.5'te SEM analizi sonucu karbür ham malzemedeki elementlere ait % dağılım değerleri verilmektedir.

Tablo 2.5. SEM analiz sonucu elementlerin % dağılımı

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
C	0.66	50.38	76.2	0.03
Nb	0.12	0.12	5.61	0.57
Mo	0.19	0.18	8.03	0.43
Ti	0.22	0.42	29.19	0.17
Cr	0.58	1.02	69.67	0.08
Fe	0.58	0.96	62.35	0.16
Co	6.59	1.03	64.86	0.11
Ni	0.37	0.58	35.77	0.2
Ta	1.39	0.71	52.51	0.24
W	89.29	44.59	2840.15	0.01

2.2.4 Kesici Takımın Ölçülmesi

Üretimi gerçekleştirilen takımlar Zoller Genius 3s marka takım ölçüm cihazında geometrik ölçüleri çıkarılmıştır. Zoller Genius tezgahına ait özellikler tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Zoller Genius 3s tezgahına ait özellikler

Eksen Aralığı	
Z - Axis	600mm (23.62")
X - Axis	175mm (6.88")
Y - Axis	100mm (3.93")
Maksimum Takım Ölçüleri	
Diameter	340mm (13.3")
Overall length *	540mm (22.6")
Snap gage diameter - Standard	100mm (3.93")
Snap gage diameter - Micro	75mm (2.95")
Hassasiyet	
Repeat accuracy distance	± 0.002mm (0.00008")
Display accuracy	0.001mm (0.00004")
Positioning accuracy	0.001mm (0.00004")
Concentricity accuracy	0.002mm (0.00008")
Changeover accuracy tool holding	0.001mm (0.00004")
Spesifikasyonlar	
Dimensions: L x W x H	1.9 x 1.7 x 2m (76 x 67 x 79")
Weight	724kg (1597lbs)
Power	115V / 60Hz
Air	6 Bar (90psi) - Dry

Cihazın kendi içerisinde özelleştirilmiş birden fazla modül bulunmaktadır. Bu modüller içerisinde bulunan 800 programı vasıtasıyla takıma ait geometrik ölçüler ortaya koyulmuş olup tablo 2.7’ de verilmektedir.



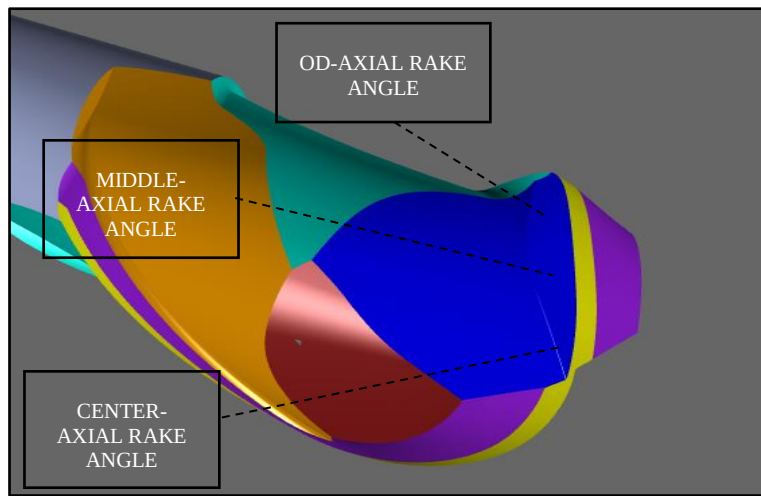
Şekil 2.16. Zoller Genius takım ölçüm cihazı

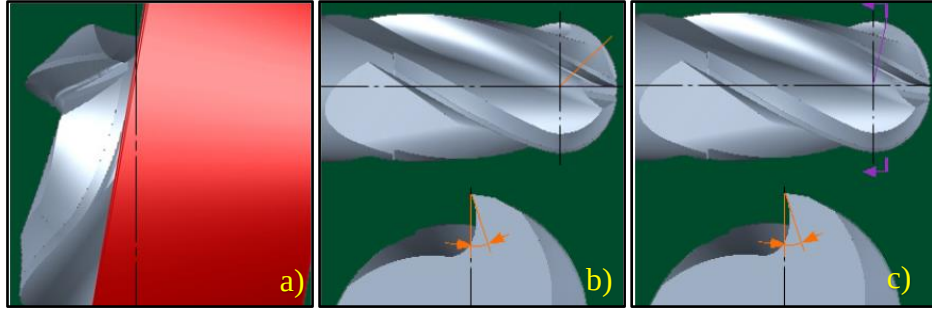
Tablo 2.7’te üretilen kesici takımın Zoller Genius takım ölçüm cihazında ölçüm değerleri ve bu değerlerin tasarımda verilen değerleri arasındaki ölçüm değerleri verilmektedir. Deneylerde kesici takım geometrisinde Axial Rake Angle (alın talaşa açısı) çalışmaları yapılmıştır. Takıma ait diğer geometrik ölçüler yapılan literatür çalışmaları ve muadil olarak incelenen takımlar doğrultusunda belirlenip, standart olarak kabul edilip deneylerde sadece farklı Axial Rake Angle geometrisine odaklanılmıştır.

Tablo 2.7. Ø12 Ballnose End Mill takım ölçüm sonuçları

Ölçülen Değerler	Tasarım Değerleri	Tolerans	Ölçülen Değerler
Core Diameter (Öz Çapı)	9	±0,1	8,92
Radial Rake Angle (Yanal Talaş Açısı)	-6°	±1°	-7°23''
Helix Angle (Helis Açısı)	30°	±30°	29°56''
Radial Primary Angle	14°	±1°	13°33''
Radial Secondary Angle	24°	±2°	26°03''
Primary Land Width	0,8	±0,05	0,85
Secondary Land Width	1,8	±0,15	1,93
Gash Angle	40°	±2°	40°50''
Axial Primary Angle	10°	±1°	7°27''
Axial Secondary Angle	20°	±2°	18°28''
Axial Land Width	0,65	±0,1	0,62
Edge Radius (µm)	-	±0,005	17,92

Deneylerde şekil 2.16' da belirtildiği gibi küresel başlı frezelerde 3 farklı Axial Rake Angle değeri verilmektedir. Bu değerler küre formundaki talaş açısı şekil 2.18'de belirtilen üç değerden oluşmaktadır. Tez çalışmasında bu geometrinin optimizasyonu çalışmaları yapılacaktır.

**Şekil 2.17.** Ballnose end mill de bulunan farklı axial rake angle gösterimleri



Şekil 2.18. Ballnose end mill de bulunan axial rake angle gösterimleri

a) Center Axial rake angle b) Middle Axial rake angle c) OD Axial rake angle

Deneylerde Full faktöriyel yöntemi kullanılarak 3 farklı Axial Rake Angle için 3 farklı değer belirlenip toplamda 3x3x3 Full faktöriyel metodu ile 27 adet farklı takım üretilmiştir. Üretilen bu takımların takım numaralarına bağlı olarak tasarım değerleri ve gerçek ölçüm sonuçları tablo 2.8’ de verilmektedir.

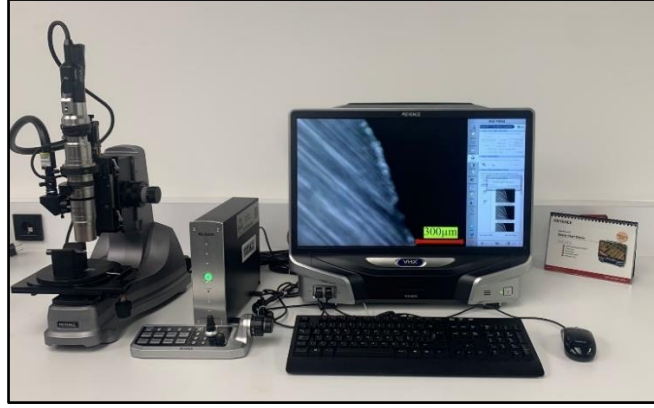
Tablo 2.8. Ø12 Ballnose end mill axial rake angle ölçüm değerleri

Takım Numarası	TASARIM DEĞERLERİ			ÖLÇÜLEN DEĞERLER		
	CENTER	MIDDLE	OD	CENTER	MIDDLE	OD
1.	2°	0°	4°	1°10"	0°35"	17°38"
2.	2°	0°	6°	1°18"	1°59"	18°38"
3.	2°	0°	8°	2°13"	0°43"	20°02"
4.	2°	2°	4°	2°25"	3°35"	18°02"
5.	2°	2°	6°	2°22"	2°35"	19°22"
6.	2°	2°	8°	2°06"	3°26"	19°02"
7.	2°	4°	4°	2°63"	4°15"	18°32"
8.	2°	4°	6°	2°22"	5°10"	19°07"
9.	2°	4°	8°	1°49"	3°45"	19°18"
10.	-2°	0°	4°	-1°55"	0°17"	16°39"
11.	-2°	0°	6°	-1°05"	0°47"	17°13"
12.	-2°	0°	8°	-0°55"	-0°18"	20°18"

13.	-2°	2°	4°	-1°55"	2°17"	17°36"
14.	-2°	2°	6°	-2°15"	2°03"	18°15"
15.	-2°	2°	8°	-1°45"	3°01"	21°07"
16.	-2°	4°	4°	-2°35"	2°49"	18°36"
17.	-2°	4°	6°	-1°36"	3°49"	18°58"
18.	-2°	4°	8°	-1°16"	4°17"	19°45"
19.	-6°	0°	4°	-3°55"	-0°05"	18°55"
20.	-6°	0°	6°	-3°55"	0°29"	19°09"
21.	-6°	0°	8°	-3°28"	-0°22"	19°00"
22.	-6°	2°	4°	-4°38"	3°11"	19°04"
23.	-6°	2°	6°	-4°58"	1°55"	19°28"
24.	-6°	2°	8°	-5°25"	3°19"	19°37"
25.	-6°	4°	4°	-5°07"	3°53"	19°48"
26.	-6°	4°	6°	-4°30"	4°33"	20°02"
27.	-6°	4°	8°	-5°49"	2°53"	21°54"

2.2.5 Edge Radyus Ölçümü ve Kaplama

Üretilen takımlar daha sonra kaplama işlemi uygulanacaktır. Kaplama öncesi ve sonra üretilen takımların Edge Radius (yuvarlanma yarıçapı) değerleri tablo 2.10’da belirtilen değerlerdedir. Ölçümler keyence optik mikroskopu ile yapılmaktadır. Şekil 2.19’da gösterilen KEYENCE VHX-6000 digital optik mikroskop, VH-Z100R RZx100x1000 KEYENCE lens, VH-Z500R RZx500x5000 ve “KEYENCE software” yazılımı kullanılmıştır. Dijital optik mikroskoba ait teknik bilgiler Tablo 2.9’da sunulmuştur.



Şekil 2.19. Mikroyapı ve Edge Radius Görüntülerinin Alındığı Dijital Optik Mikroskop

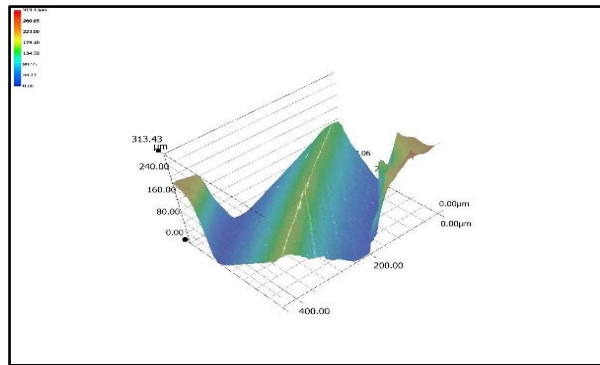
Tablo 2.9. Keyence VHX-6000 Digital Mikroskobun Teknik Özellikleri

Işık Kaynağı	LED
X, Y stage / Z stage	Manuel / Motorize
Yönler	(WxDxH) 550 x 200 x 470 cm
Kamera	18 MP
Lens	100x – 1000x / 500x – 5000x

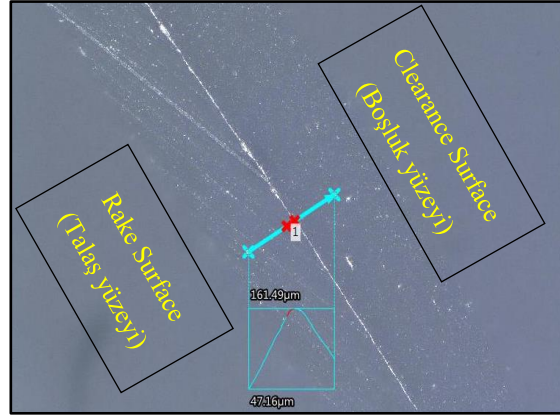
Tablo 2.10. Kaplama öncesi ve sonrası yuvarlanma yarıçapları (Edge radyus)

Kaplama öncesi yuvarlanma yarıçapı	Kaplama sonrası yuvarlanma yarıçapı
7.12	17.92

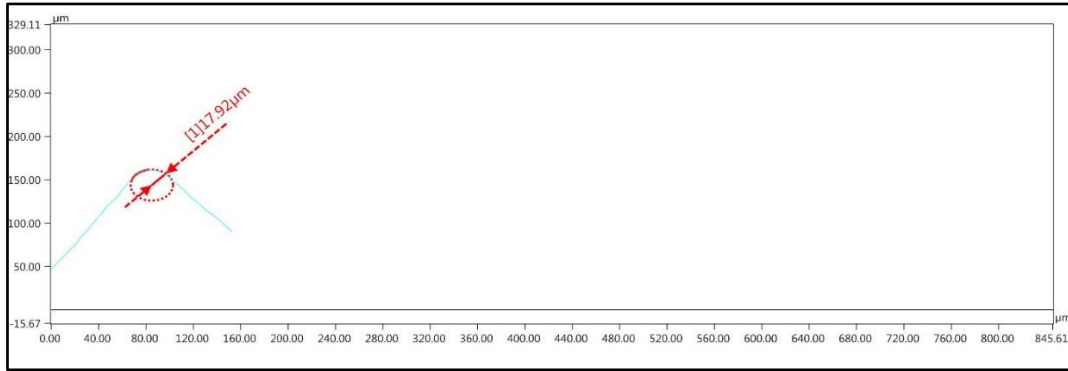
Şekil 2.20-2.21-2.22’de optik mikroskopta yuvarlanma yarıçaplarının alındığı görüntüler ve sonuçlar verilmektedir.



Şekil 2.20. Optik mikroskopta 3D yuvarlanma yarıçapı görüntüleri



Şekil 2.21. Optik mikroskopta yuvarlanma yarıçapının alındığı bölge



Şekil 2.22. Optik mikroskopta 2D yuvarlanma yarıçapının değeri verilmektedir.

Kesici takıma TiAlN kaplama uygulanmıştır. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde takımın aşınmaya karşı direncini ve düşük sürtünme katsayısına sahip kaplamalar tercih edilmektedir. Bu yüzden TiAlN kaplama tercih edilmiştir. Tablo 2.11’ de kaplamaya ait bilgiler verilmektedir.

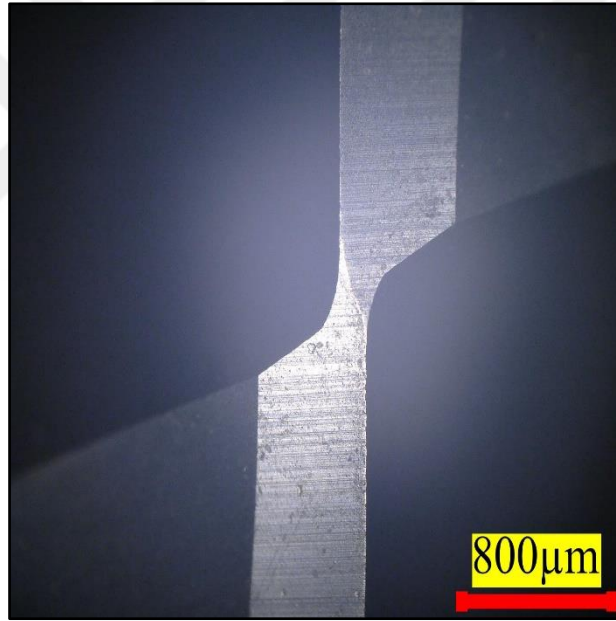
Tablo 2.11. TiAlN kaplama özellikleri

Nitelikler	Değerler
Sertlik (HV 0,05)	3300
Kaplama Sıcaklığı (°F)	930
Sürtünme Katsayısı	0,5
Kalınlık (μm)	1,5-4
Oksidasyon Direnci (°F)	1470
Renk	Siyah-Mor

Şekil 2.23 ve 2.24’te üretimi ve kaplaması işlemi tamamlanmış takıma ait görüntüler verilmektedir.



Şekil 2.23. Üretimi tamamlanmış ve kaplanmış takım



Şekil 2.24. Takıma ait optik mikroskopta alınmış alın görüntüsü

2.3 Talaşlı İmalat Test Düzeneği

2.3.1 CNC Dikey İşleme Merkezi, Takım Tutucu ve İşleme Parametreleri

Tez çalışması talaşlı imalat testleri Fanuc ROBODRILL Alpha-D21LiB5 CNC dikey işleme merkezi kullanılmıştır. İşleme merkezine ait özellikleri Tablo 2.12’te ve işleme merkezinin görüntüsü ise Şekil 2.25’te sunulmuştur.



Şekil 2.25. Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi

Tablo 2.12 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri

X/Y/Z	Mm	700 x 400 x 330
Maksimum takım boyu	Mm	250
Maksimum takım çapı	Mm	80
Tabla boyutu	Mm	850 x 410
Maksimum tabla yüklemesi	Kg	300
Maksimum takım ağırlığı	Kg	3
İş mili hızı	Devir	10000
İş mili torku	Nm- KW	80 – 14.2
Boştaki eksen hızları	m/ dak.	54
Takım adedi	adet	21
Takım tutucu	Magazin tipi	BT30/ SK30 DIN 69871A
Programlanabilir ilerleme hızı	mm/dak.	30000
Boyutlar	m	2.165 x 2.65 x 2.85

E-38K deney parçasının talaşlı imalat deneyleri esnasında Ø12 ballnose End Mill SK 30-20-90 BT tipi hidrolik tutucuya bağlanarak kullanılmıştır



Şekil 2.26. Ø12 ballnose ve hidrolik tutucu

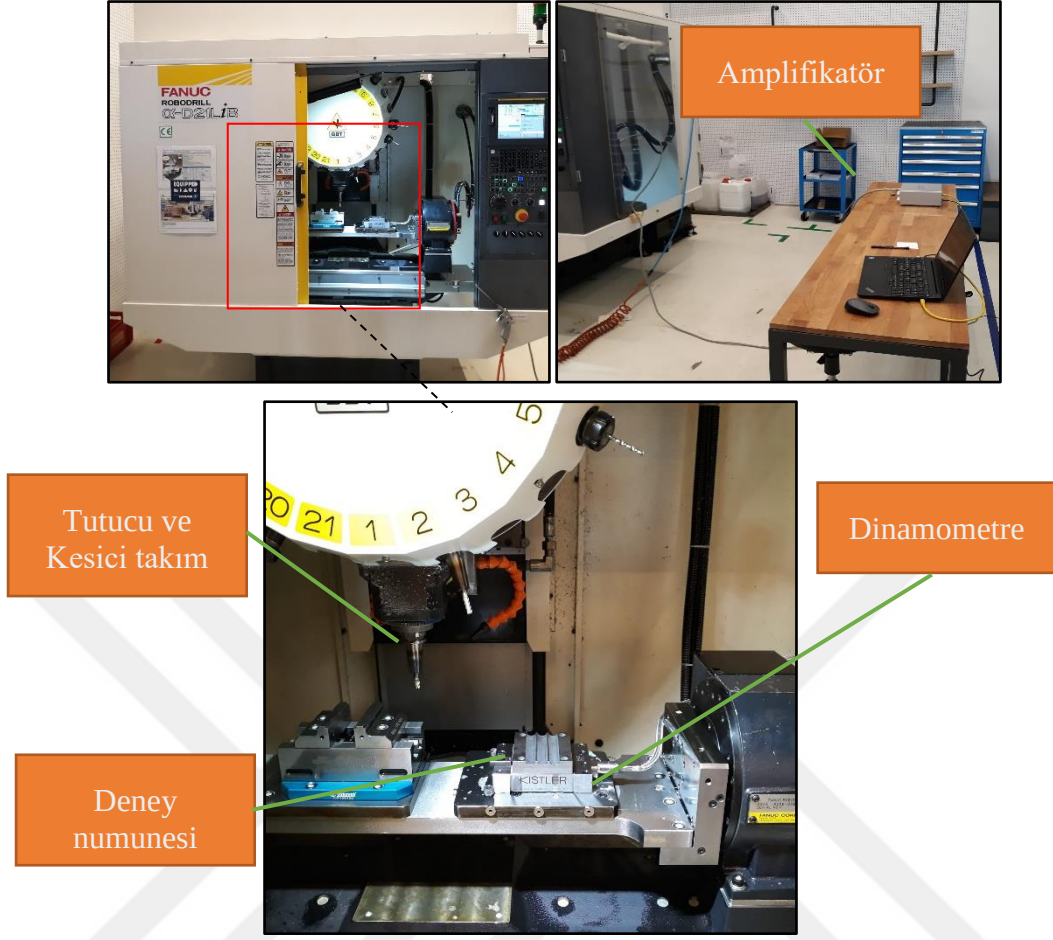
Deney sırasında tablo 2.13’ te verilen parametrelerde deneyler yapılmıştır. Tüm takım denemelerinde parametreler sabit tutulmuştur.

Tablo 2.13. Talaşlı imalat testleri için belirlenen kesme koşulu ve parametreleri.

Kesme hızı (m/ dak)	ae (mm)	İlerleme (mm/ dev)	N (dev/dak)	Kesme Koşulları
150	0,2	0,05	4000	%7 Bor Yağ

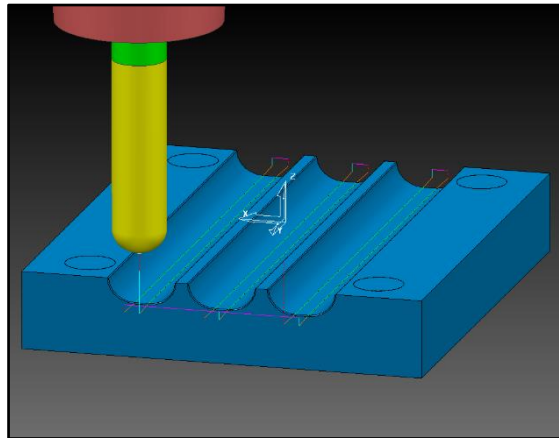
2.3.2 Kesme Kuvvetleri Ölçümü

Delik delme işlemleri sırasında kesme kuvvetleri maksimum 10 kN ölçüm yapan, 0-70°C sıcaklık aralığında ve su altında çalışabilen Kistler 9129AA tipi çok bileşenli dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen kuvvet verileri, LabAmp sistemi Tip 5167A amplifikatör kullanılarak bilgisayar aktarılmıştır. Veriler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kistler 9129AA tipi dinamometre ve 5167A tipi ampfilikatör Şekil 2.27’ de sunulmuştur. Frezeleme operasyonunda F_x ve F_y radyal ve eksenel kuvveti ifade etmektedir ve bileşke kuvvetleri alınarak kuvvet değerleri alınmıştır.



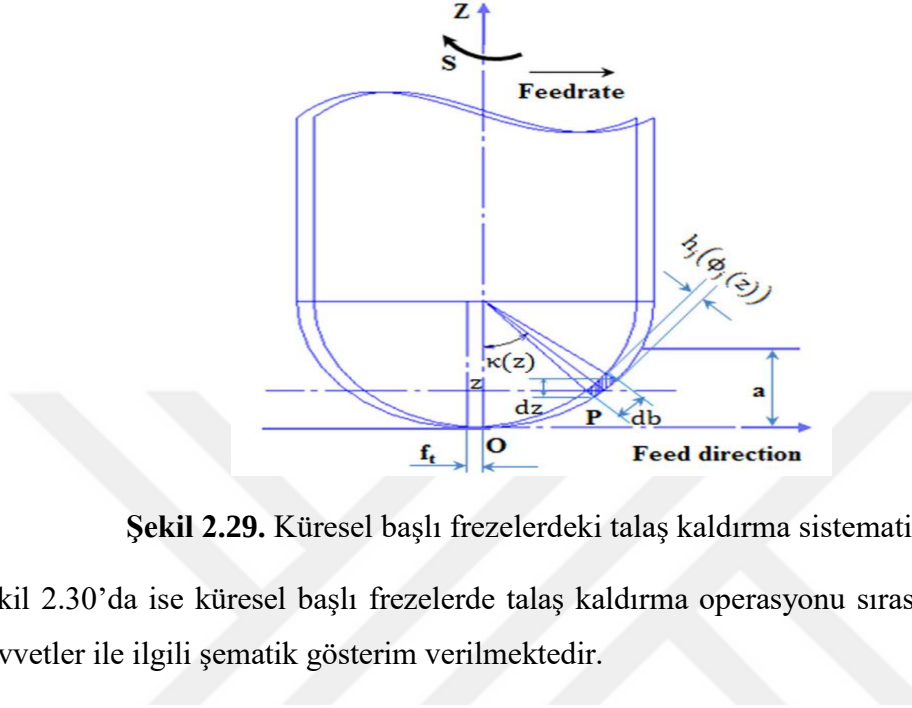
Şekil 2.27. Talaşlı İmalat Deney Düzeneği

Deneylerde işleme mantığı Şekil 2.28’de gösterilen şekildedir. Burada deney parçasına R6 formu verilmiş kanallardan duvardan 0,2 paso verilerek farklı geometrilerde üretilmiş takımlardan dinamometre vasıtasıyla kuvvetler alınmıştır. Her takım için 2 tekrar yapılmıştır.



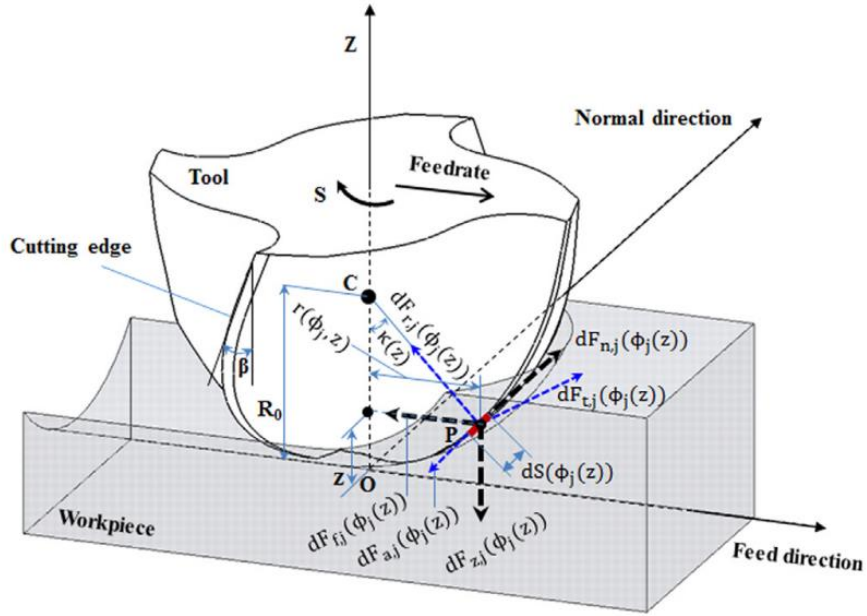
Şekil 2.28. Deney çalışmasındaki talaş kaldırma sistematığı

Şekil 2.29’da küresel başlı frezenin talaş kaldırırken ilerlemeye bağlı olarak talaş kaldırma operasyonunun kesici ağızda meydana gelen değişken talaş kalınlığını şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Küresel başlı frezelerdeki talaş kaldırma sistematığı

Şekil 2.30’da ise küresel başlı frezelerde talaş kaldırma operasyonu sırasında etki eden kuvvetler ile ilgili şematik gösterim verilmektedir.



Şekil 2.30. Küresel başlı frezelerde talaş kaldırma operasyonunda etki eden kuvvetler

2.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Frezeleme operasyonundan sonra iş parçasındaki kanal yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek yüzey kaliteleri kıyaslanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Şekil 2.29’ de görüntüsü sunulan Mitutoyo Surftest Extreme SV-3000 CNC yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri tablo 2.14’ de sunulmuştur. Numune yüzeylerinin “Aritmetik Ortalama Pürüzlülük”, R_a , ve “Maksimum Pürüzlülük Derinliği”, R_z , değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.31. Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı

Tablo 2.14’te yüzey pürüzlülüğü cihazına ait özellikler verilmiştir.

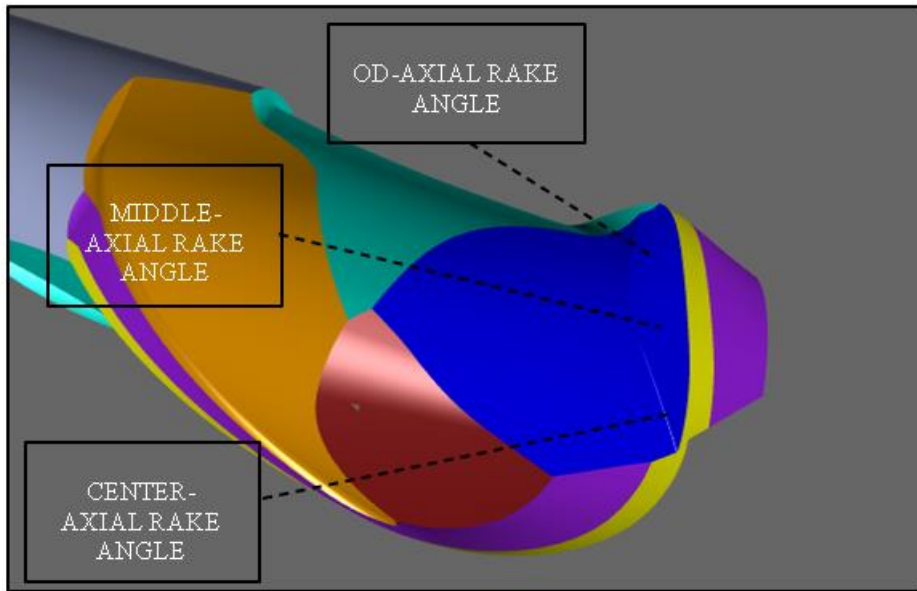
Tablo 2.14. Yüzey pürüzlülüğü cihaz özellikleri

Profil Türü	Roughness_ISO
Ölçüm Metodu	İğne Uç ile Ölçme
Lc	0.8 mm
Ls	0.0025 mm
Filtre Tipi	Gaussian
Örnekleme sayısı	5
Adım	0.0005 mm
Hız	1.0 mm/s

2.3.4 Takım Aşınması Ölçümü

Kesici takımın aşınma miktarı ölçümlerinde keyence optik mikroskopu ile yapılmıştır. Daha önce Şekil 2.19’da gösterilen ve tablo 2.9’da belirtilen özelliklerdeki KEYENCE VHX-6000 dijital optik mikroskop ile takım aşınması incelenmiştir. Tez çalışması 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü baz alınarak optimum takım kalitesi belirlenmiştir. Daha sonra optimum takım 3 farklı karbür kalitesi ile aşınma testleri uygulanmıştır. Kesici takımda meydana gelen aşınma türleri ve büyüklükleri optik mikroskop ile saptanmış ve gösterilmiştir.

Takım aşınma görüntüleri alınırken daha önce de belirttiğimiz gibi takımın 3 farklı Axial rake angle bölgesi optik mikroskopta incelenerek alınmıştır. Şekil 2.30’da bu bölgelere ait gösterimler tekrardan verilmektedir.



Şekil 2.32. Küresel başlı takıma ait farklı Axial rake angle bölgeleri

3. TALAŞLI İMALAT TEST VE ANALİZLERİ

3.1 Kesme Kuvvetleri

Frezeleme operasyonun kullanılan küresel başlı frezeye ait esas kesme kuvvetleri Şekil 2.30’ da gösterilmektedir. Test sırasında kesme parametreleri sabit tutularak değişen Axial rake açlarına bağlı olarak kesici takımlarda meydana gelen kuvvet değişimleri incelenmiştir. Tablo 3.1’de gösterildiği gibi çalışmalarda farklı Axial rake angle değerine bağlı olarak kesici takımdan meydana gelen ilerleme (Ff), normal (Fn) ve Bileşle kuvvet (Fr) değerleri verilmektedir. Takımda meydana gelen kesme kuvvetleri takım kesici ağız dayanımı, takım aşınması ve iş parçası yüzey kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Tablo 3.1 Farklı Axial rake angle bağlı olarak takımlar meydana gelen kuvvet değerleri

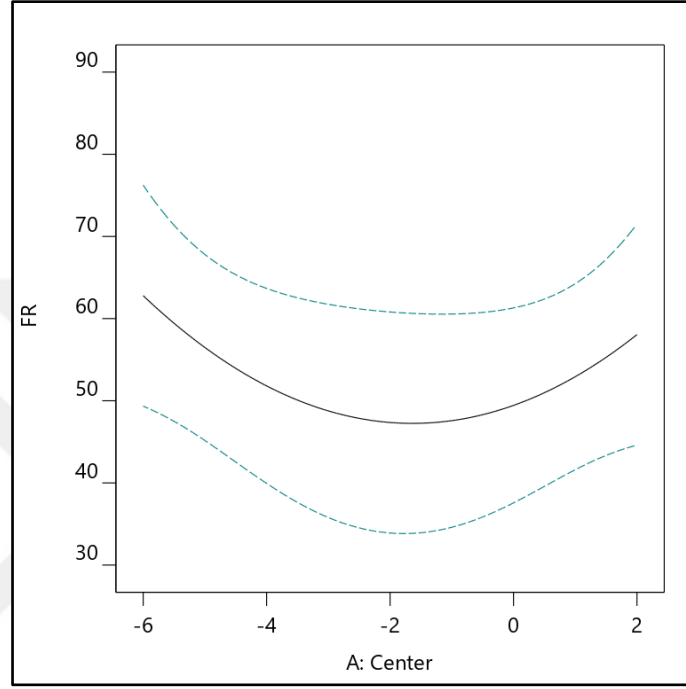
Takım Numarası	AXIAL RAKE ANGLE			KUVVET DEĞERLERİ		
	CENTER	MIDDLE	OD	Fn (N)	Ff (N)	Fr (N)
1.	1°10"	0°35"	17°38"	37,84	38,7	54,13
2.	1°18"	1°59"	18°38"	39,12	45,57	60,06
3.	2°13"	0°43"	20°02"	38,66	71,81	81,56
4.	2°25"	3°35"	18°02"	44,35	31,45	54,37
5.	2°22"	2°35"	19°22"	46,21	30,41	55,32
6.	2°06"	3°26"	19°02"	31,59	67,08	74,15
7.	2°63"	4°15"	18°32"	26,08	39,48	47,32
8.	2°22"	5°10"	19°07"	42,83	47,87	64,23
9.	1°49"	3°45"	19°18"	33,77	63,12	71,59
10.	-1°55"	0°17"	16°39"	34,93	41,59	54,31
11.	-1°05"	0°47"	17°13"	43,41	32,46	54,20
12.	-0°55"	-0°18"	20°18"	39,39	42,85	58,20
13.	-1°55"	2°17"	17°36"	23,03	41,93	47,84
14.	-2°15"	2°03"	18°15"	34,58	29,84	45,67
15.	-1°45"	3°01"	21°07"	34,98	40,46	53,48

16.	-2°35"	2°49"	18°36"	35,73	55,91	66,35
17.	-1°36"	3°49"	18°58"	35,1	55,06	65,30
18.	-1°16"	4°17"	19°45"	43,7	40,73	59,74
19.	-3°55"	-0°05"	18°55"	38,4	46,85	60,58
20.	-3°55"	0°29"	19°09"	42,84	43,21	60,85
21.	-3°28"	-0°22	19°00"	37,75	56,88	68,27
22.	-4°38"	3°11"	19°04"	43,52	41,45	60,10
23.	-4°58"	1°55"	19°28"	49,96	44,95	67,20
24.	-5°25"	3°19"	19°37"	45,24	33,11	56,06
25.	-5°07"	3°53"	19°48"	39,88	36,31	53,93
26.	-4°30"	4°33"	20°02"	40,53	48,19	62,97
27.	-5°49"	2°53"	21°54"	38,13	49,95	62,84

Elde edilen kesme kuvvetleri 3 farklı Axial rake angle değeri baz alınarak Anova (analysis of variance) yöntemi kullanılarak kendi içerisinde değerlendirilmiştir.

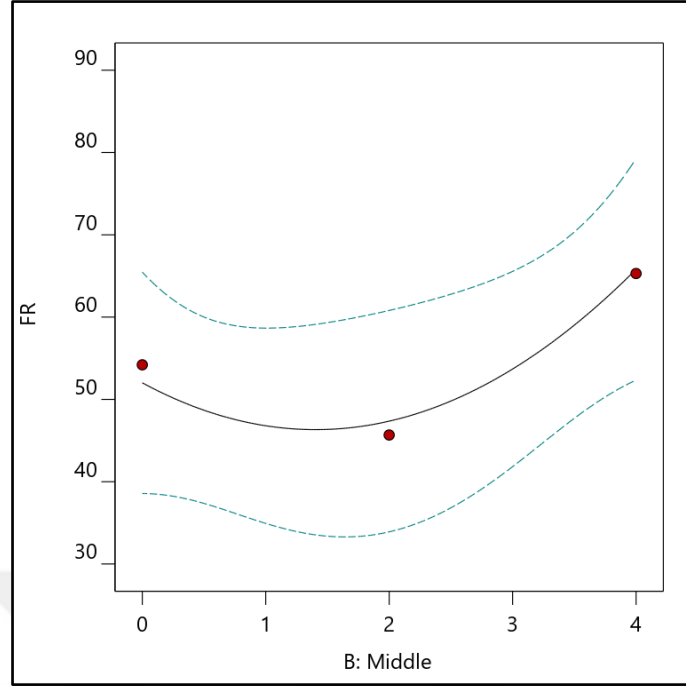
İlk olarak farklı Center Axial Rake değerine bağlı olarak kuvvet değişimlerini incelediğimizde deney için belirlenen -6°, -2° ve 6° değerleri ele alındığında en düşük kesme kuvvetinin -2° olduğu saptanmaktadır. Bunun sebebini açıklamak gerekir ise, sertleştirilmiş çeliklerin malzeme yapısını incelediğinizde burada talaş kırılabilirliğini diğer sünek malzemede nazaran daha kolay olduğu görülmektedir. Bu yüzden bu tarz malzemelerin işlenmesinde kullanılan takımların genelde negatif değerleri talaş açılı takımlar kullanılmaktadır. Burada takımdan beklenen esas nokta, talaş kırılabilirliğini kolay olan malzemede daha çok kesici takım ağız dayanımı ve aşınma direnci yüksek bir takım performansı beklenmektedir. Şekil 3.1' de farklı Center Axial Rake değerlerine bağlı olarak oluşan kuvvet grafiğinin eğilimi verilmektedir. Normal şartlarda pozitif talaş açısına sahip takımların negatif talaş açısına sahip takımlara nazaran daha az kesme kuvveti oluşturması beklenmektedir. Burada dikkat çekilmesi gereken konu 50-52 HRC sertliğine sahip iş parçasına takım temas esnasında kesici ağızda meydana gelen deformasyon ve mikro kırıklar ile birlikte kesici ağızda oluşan düzensiz kuvvet dağılımı ve esas kesici ağzın talaş kaldırma işlevini kaybetmesi ile birlikte kesici takımdaki

kuvvetlerin artmasına sebep olmaktadır. Center Axial rake iş parçasına şekil 2.29’ da gösterildiği üzere ilk temas bölgesi olduğundan dolayı, diğer eksenel talaş açısı bölgesi olan Middle ve Od Axial rake bölgelerine nazaran daha fazla kuvvet gelmesiyle birlikte takımın çevresel hızının en düşük olduğu yer olması sebebiyle negatif değerli takım performansı önem kazanmaktadır.



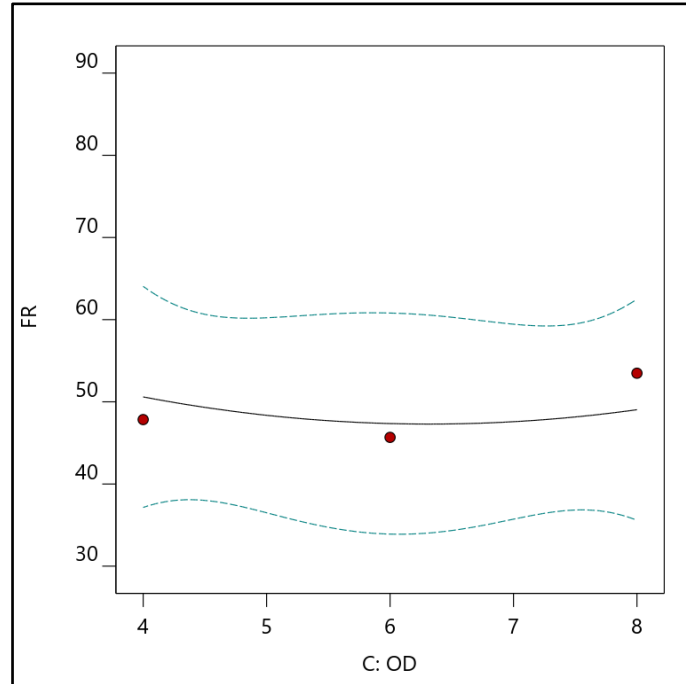
Şekil 3.1. Değişen Center axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri

Yukarıda belirtilen durumla aynı çerçevede Middle ve OD axiala rake değerleri değerlendirilebilir. Middle Axial rake angle baktığımızda Şekil 3.2’ te görüldüğü gibi 0°, 2° ve 4° dereceler test edilmiştir. Şekil 2.29’ verilen talaş kaldırma sistematüğinde küresel başlı parmak frezenin Middle (orta) talaş kaldırma bölgesinde talaş kalınlığı artmaktadır. Bu sebepten dolayı takımın rahat talaş kalındırması için pozitif değerli talaş açısına ihtiyaç duymaktadır. Deney çalışması için belirlenen açılardan 2°’ de en düşük kesme kuvveti saptanmış olup, en yüksek kesme kuvveti ise 4° olarak saptanmıştır.



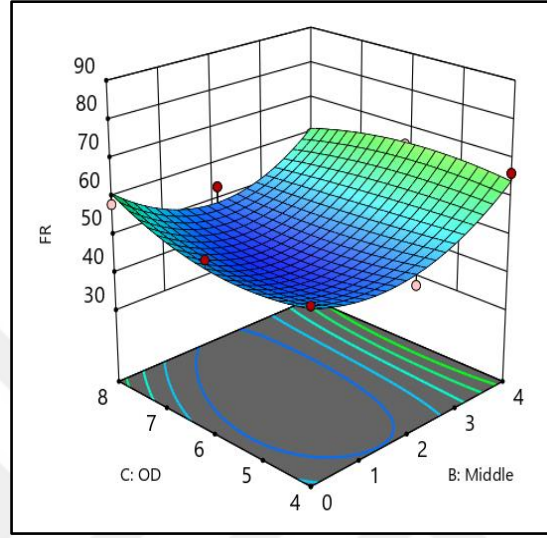
Şekil 3.2. Değişen Middle axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri

Od Axial rake angle baktığımızda ise Şekil 3.2' te görüldüğü gibi 4° , 6° ve 8° dereceleri test edilmiştir. Middle Axial rake kısmında bahsettiğimiz husustan yola çıkarak burada da aynı durum göz önünde alınarak en yüksek bileşke kuvvet (Fr) 8° 'de iken en düşük kesme kuvveti 6° 'de gözlenmektedir.



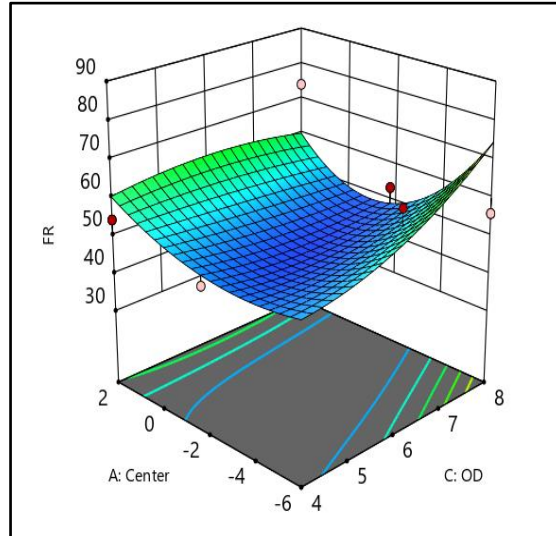
Şekil 3.3. Değişen OD axial rake değerine bağlı olarak bileşke kuvvet (Fr) değerleri

Ayrıca yukarıda belirtilen optimum Axial değerleri sabit tutularak diğer Axial rake değerleri değişimine bağlı olarak 3D kuvvet grafiği değişimleri şekil 3.4-3.5 ve 3.6’da belirtildiği gibidir. Optimum Center Axial rake angle (-2°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak kuvvet dağılımını şekil 3.4’ de verilmiştir.



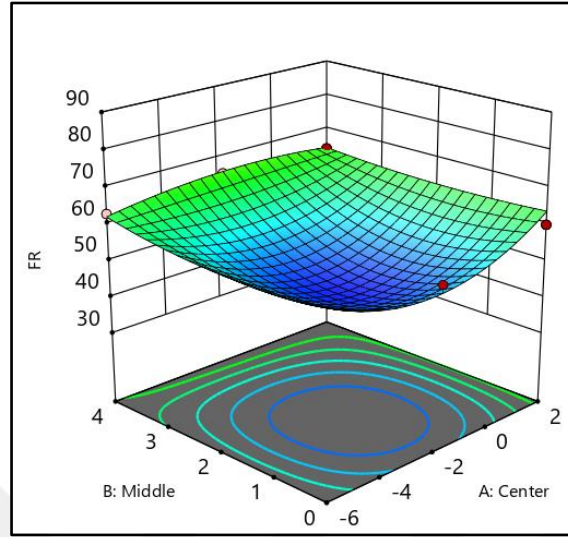
Şekil 3.4. Center axial rake değeri optimumda (-2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği

Optimum Middle Axial rake angle (2°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak kuvvet dağılımını şekil 3.5’ de verilmiştir.



Şekil 3.5. Middle axial rake değeri optimumda (2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği

Optimum Od Axial rake angle (6°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak kuvvet dağılımını şekil 3.6’ de verilmiştir.



Şekil 3.6. OD axial rake değeri optimumda (6°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D kuvvet dağılım grafiği

Son olarak bu 3 farklı Axial rake angle değerine ait bileşke kuvvetleri (Fr) optimum takım geometrisi değerleri açısından incelenmiştir.

Tablo 3.2’ de belirtildiği gibi yapılan analiz neticesinde 27 farklı takım geometrisi açısında yakınmasa değeri en fazla olan takım sırasıyla -6° , -2° ve 2° tasarım derecelere sahip olan %98,6 yakınsama değeri sahip 14. nolu takım çıkmıştır. Optimum takım belirlemede yakınsama değeri en yüksek olan ilk 5 takıma ait olan yakınsama değerleri tablo 3.2’ deki gibidir.

Tablo 3.2. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri kuvvet değeri baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 5 takıma ait değerler

No	CENTER ($^\circ$)	MIDDLE ($^\circ$)	OD ($^\circ$)	Fr (N)	Desirability
1	-1.526	1.366	5.749	46.173	0.986
2	2.000	4.000	4.000	49.235	0.901
3	2.000	3.766	4.050	49.671	0.889
4	1.536	2.480	4.000	50.467	0.866
5	-6.000	4.000	4.000	54.068	0.766

3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

İş parçası kalitesi özellikleri biri olan yüzey pürüzlülüğü özellikle kalıpcılık sektöründe büyük önem taşımakta ve kaliteli bir iş parçası yüzeyi olması gerekmektedir. Yüzey bütünlüğünün bir parçası olan, yüzey parametrelerinden biri olan Ra, aritmetik ortalama pürüzlülük: değerlendirme uzunluğu içindeki merkez çizgisi etrafındaki sapmalardan belirlenen filtelenmiş pürüzlülük profilinin aritmetik ortalama değeri olarak tanımlanır. Rz ise, ortalama tepeden vadiye yükseklik olarak tanımlanmaktadır [21]. Yüzey kalitesini etkileyen parametreler arasında kesme parametreleri, takım geometrisi, kesme koşulları vs. parametreler etkilemektedir. Burada tüm şartlar aynı tutulup sadece takım geometrisindeki değişim göz önüne alınarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim incelenmektedir. Tablo 3.3’ te farklı Axial rake angle parametrelerine bağlı olarak iş parçasında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü sonuçları verilmektedir.

Tablo 3.3. farklı Axial rake angle bağlı olarak iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri

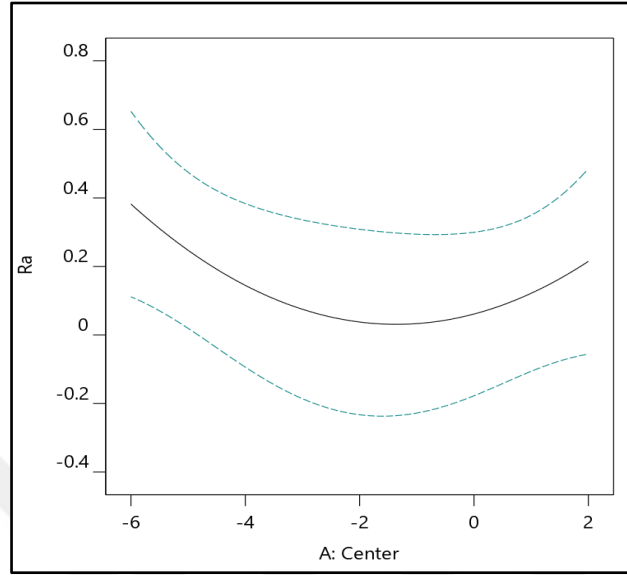
Takım Numarası	AXIAL RAKE ANGLE		PÜRÜZLÜLÜK (Ra) DEĞERLERİ	
	CENTER	MIDDLE	OD	Ra (μm)
1.	1°10"	0°35"	17°38"	0,085
2.	1°18"	1°59"	18°38"	0,147
3.	2°13"	0°43"	20°02"	0,150
4.	2°25"	3°35"	18°02"	0,209
5.	2°22"	2°35"	19°22"	0,269
6.	2°06"	3°26"	19°02"	0,090
7.	2°63"	4°15"	18°32"	0,155
8.	2°22"	5°10"	19°07"	0,130
9.	1°49"	3°45"	19°18"	0,113
10.	-1°55"	0°17"	16°39"	0,115
11.	-1°05"	0°47"	17°13"	0,109

12.	-0°55"	-0°18"	20°18"	0,715
13.	-1°55"	2°17"	17°36"	0,11
14.	-2°15"	2°03"	18°15"	0,077
15.	-1°45"	3°01"	21°07"	0,258
16.	-2°35"	2°49"	18°36"	0,194
17.	-1°36"	3°49"	18°58"	0,101
18.	-1°16"	4°17"	19°45"	0,116
19.	-3°55"	-0°05"	18°55"	0,097
20.	-3°55"	0°29"	19°09"	0,191
21.	-3°28"	-0°22"	19°00"	0,282
22.	-4°38"	3°11"	19°04"	0,407
23.	-4°58"	1°55"	19°28"	0,288
24.	-5°25"	3°19"	19°37"	0,638
25.	-5°07"	3°53"	19°48"	0,347
26.	-4°30"	4°33"	20°02"	0,208
27.	-5°49"	2°53"	21°54"	0,101

3 farklı Axial rake angle değerlerini ayrı ayrı ele alırsak;

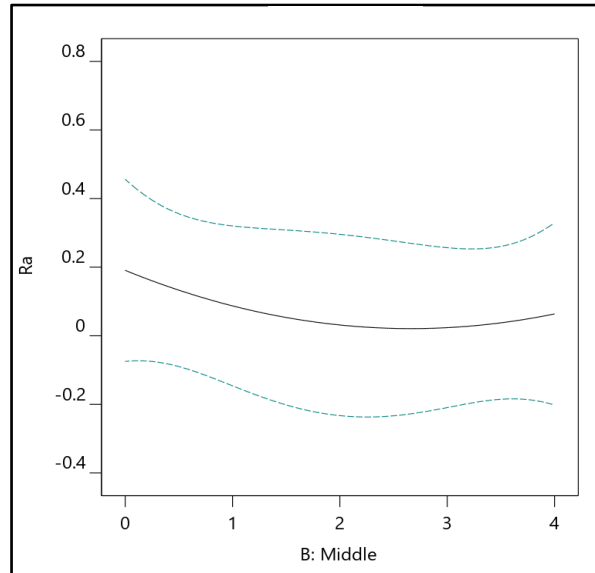
İlk olarak Center Axial rake angle değerleri sırasıyla -6°, -2° ve 2° dir. Burada artan center Axial rake angle değerine bağlı olarak giderek artan center Axial rake angle değeri iş parçasındaki yüzey pürüzlülük değerini artırmaktadır. Bu durumda iş parçasının sertliğinin yüksek olmasına bağlı olarak talaş koparmadaki zorluktan daha çok kesici takımındaki ağız dayanımının azalması ile birlikte artan kesme kuvvetleri sebebiyle oluşan vibrasyonların artması ve bu vibrasyonların iş parçası üzerinde meydana getirdiği dalgalı yüzeyler ile birlikte iş parçası yüzey kalitesi azalmaktadır. Şekil 3.7'yi incelediğimizde en düşük ortalama yüzey kalitesi kesme kuvvetinin en az olduğu -2° 'de saptanmıştır. Bu sebebi yukarıda anlattığımız kesme kuvvetine bağlı olarak kesici ağızda meydana gelem vibrasyonlardır. En yüksek kesme kuvveti ise kesme kuvvetinin en fazla olduğu -6° 'de saptanmıştır.

Center Axial rake angle daki yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi middle ve od axila rake angle değerlerine nazaran daha fazla olduğu saptanmıştır.



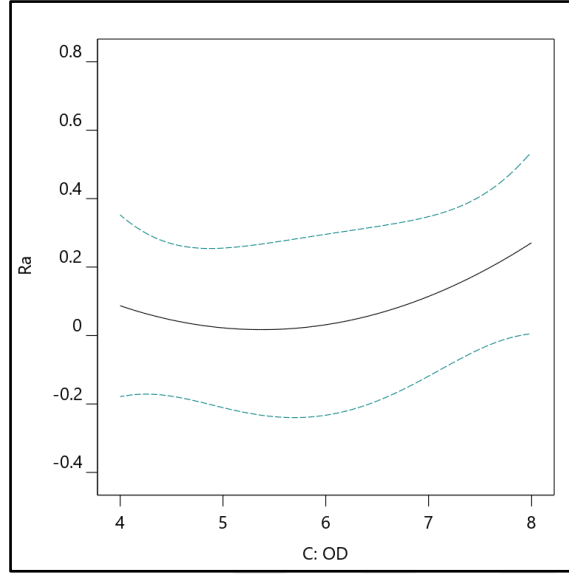
Şekil 3.7. Değişen Center axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

Benzer mantık ile baktığımızda middle Axial rake angle 'da da aynı durum söz konusudur. Yine en iyi yüzey kalitesi kesme kuvvetinin en az olduğu 2° de saptanmıştır.



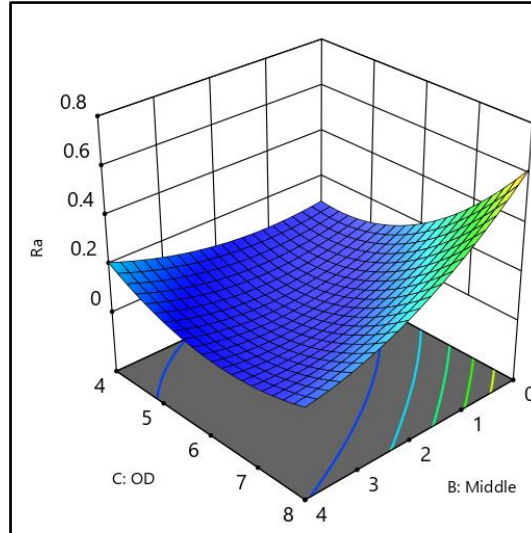
Şekil 3.8. Değişen Middle axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

Od axisl rake angle en düşük kesme kuvvetinin olduğu 6° de en düşük ortalama yüzey kalitesine sahip değer olduğu belirlenmiştir.



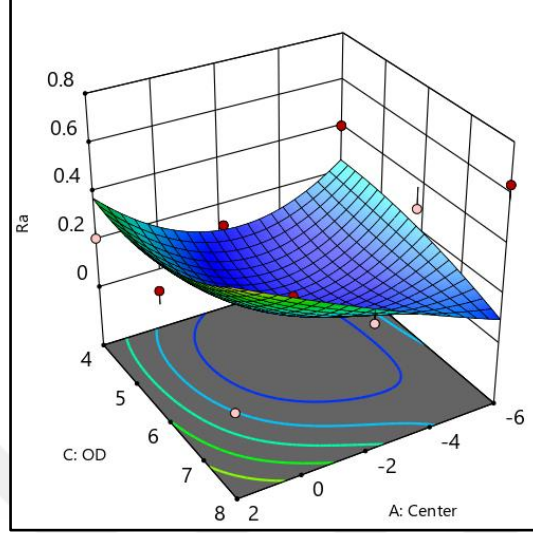
Şekil 3.9. Değişen OD axial rake değerine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

Ayrıca yukarıda belirtilen optimum Axial değerleri sabit tutularak diğer Axial rake değerleri değişimine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğüne ait değişimlerini gösteren 3D grafikleri şekil 3.10-3.11 ve 3.12’de belirtildiği gibidir. Optimum Center Axial rake angle (-2°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiği (Ra) şekil 3.10’ de verilmiştir.



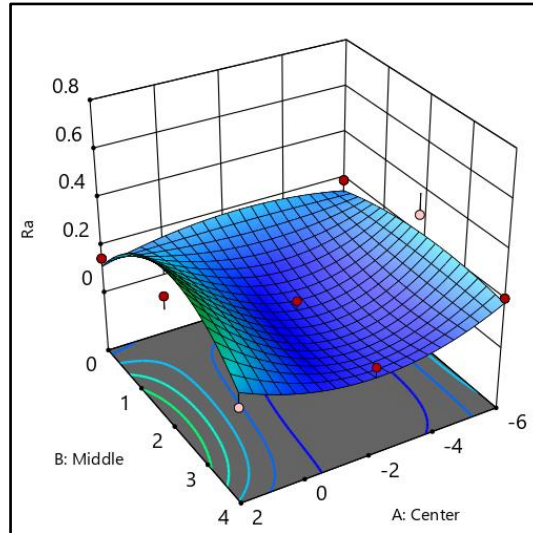
Şekil 3.10. Center axial rake değeri optimumda (-2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği

Optimum Middle Axial rake angle (2°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiği (Ra) şekil 3.11’ de verilmiştir.



Şekil 3.11. Middle axial rake değeri optimumda (2°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği

Optimum Od Axial rake angle (6°) değeri sabit tutulup, diğer Axial rake angle değerlerindeki değişimine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü grafiği (Ra) şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.12. Od axial rake değeri optimumda (6°) sabit tutularak diğer bölgelerde oluşan 3D ortalama yüzey pürüzlülüğü dağılım grafiği

Son olarak bu 3 farklı Axial rake angle değerine ait ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) optimum takım geometrisi değerleri açısından incelenmiştir. Tablo 3.4’ de belirtildiği gibi yapılan analiz neticesinde 27 farklı takım geometrisi arasında yakınsama değeri en fazla olan takım sırasıyla -6°, -2° ve 2° tasarım derecelere sahip olan %100 yakınsama değeri sahip 14. nolu takım çıkmıştır. Optimum takım belirlemede yakınsama değeri en yüksek olan ilk 5 takıma ait olan yakınsama değerleri tablo 3.4’ deki gibidir.

Tablo 3.4. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri yüzey pürüzlülüğü baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 5 takıma ait değerler

No	CENTER (°)	MIDDLE (°)	OD (°)	Ra(μm)	Desirability
1	-0.692	2.788	4.830	0.057	1.000
2	-1.533	3.833	7.167	0.066	1.000
3	-3.562	4.000	7.251	0.077	1.000
4	-1.221	3.555	6.837	0.051	1.000
5	-2.000	4.000	6.000	0.059	1.000

Yukarıda kesme kuvvetleri ve ortalama yüzey pürüzlülükleri ayrı ayrı ele alınarak incelenmiş olup, optimum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü veren parametreler belirlenmiştir. Bu değerleri bir arada düşünerek en iyi yüzey kalitesi ve kesme kuvvetini veren optimum takımın belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu parametreyle birlikte tezin ikinci safhası olan karbür kalitesini incelenmesi açısından optimum takım geometrisinin belirlenmesi ve bu takımın farklı karbür kalitelerinde üretilip takım aşınması yani ömür bakımından bize en iyi sonucu verecek karbür kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 3.5’te belirtildiği üzere yapılan optimizasyon çalışması neticesinde bizlere yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından en iyi yakınsama değerini veren, %99,3 ile -2°, 2° ve 6°’ler olarak saptanmıştır.

Tablo 3.5. Farklı Axial rake değerleri göre yakınsama değerleri yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti baz alınarak belirlenen en yüksek ilk 4 takıma ait değerler

No	CENTER (°)	MIDDLE (°)	OD (°)	Ra(μm)	Fr(N)	Desirability
1	-1.525	1.367	5.749	0.045	46.173	0.993
2	2.000	4.000	4.000	0.116	49.235	0.920
3	-6.000	4.000	4.000	0.345	54.068	0.667
4	-6.000	4.000	4.077	0.337	54.725	0.665

3.3 Takım Aşınması

Tezin ilk kapsamında optimum takım geometrisi belirlemek için çalışmalar yapıp incelenmiştir. Tezin ikinci safhasında takım aşınması ve ömrünü takibi için takımların farklı karbür kalitelerinde test edilmesi için üretimi gerçekleştirilmiş. Burada daha önce optimum takım çalışmasında kullanılan karbür kalitesine ek olarak (tablo 2.4) aşağıdaki tablo 3.6 ‘da belirtilen karbür kaliteleri kullanılarak optimum takımlar üretilmiştir.

Tablo 3.6 karbür kaliteleri seçilmesinde ana hususları ele aldığımızda;

İşlenilen malzemenin yüksek sertliklere sahip olması nedeniyle ham karbür çubuğunda yüksek sertliğe sahip olması istenmektedir. Lakin yüksek sertliğe sahip karbürün kırılma tokluğu düşük olmakta yani darbeler karşı enerji sönümlemesi düşük olmaktadır. Bu durumu göz önüne alarak hem yüksek sertliğe hem de yüksek tokluğa sahip bir ham malzeme tercihi için düşük tanelere sahip WC (tungsten karbür) ve kobalt (Co) oranı yüksek bir karbür çubuk seçimi yapılması gerekmektedir.

Tablo 3.6’daki verileri incelediğimizde temel farklılıklar bahsettiğimiz üzere değişen kobalt oranı ve tane büyüklüklerinde farklılıklar olarak göze çarpmaktadır. Bu değerlerdeki değişimde karbür malzemesinin sertlik ve kırılma tokluğu ile doğrudan orantılıdır.

Tablo 3.6. 3 farklı karbür kalitesine ait ham malzeme özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	DK225F	K55F	DK500UF
Co %	8	9	12
WC %	92	91	88
Yoğunluk (g/cm ³)	14.55	14.35	14.05
Sertlik (HV30)	1720	1920	1690
Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})	9.6	9.3	10.4
Ortalama tane boyutu	0.7	0.2	0.5
Enine kopma Mukavemeti (N/mm ²)	3800	3800	4200
ISO Sınıfı	K20	K05-K10	K20-K30

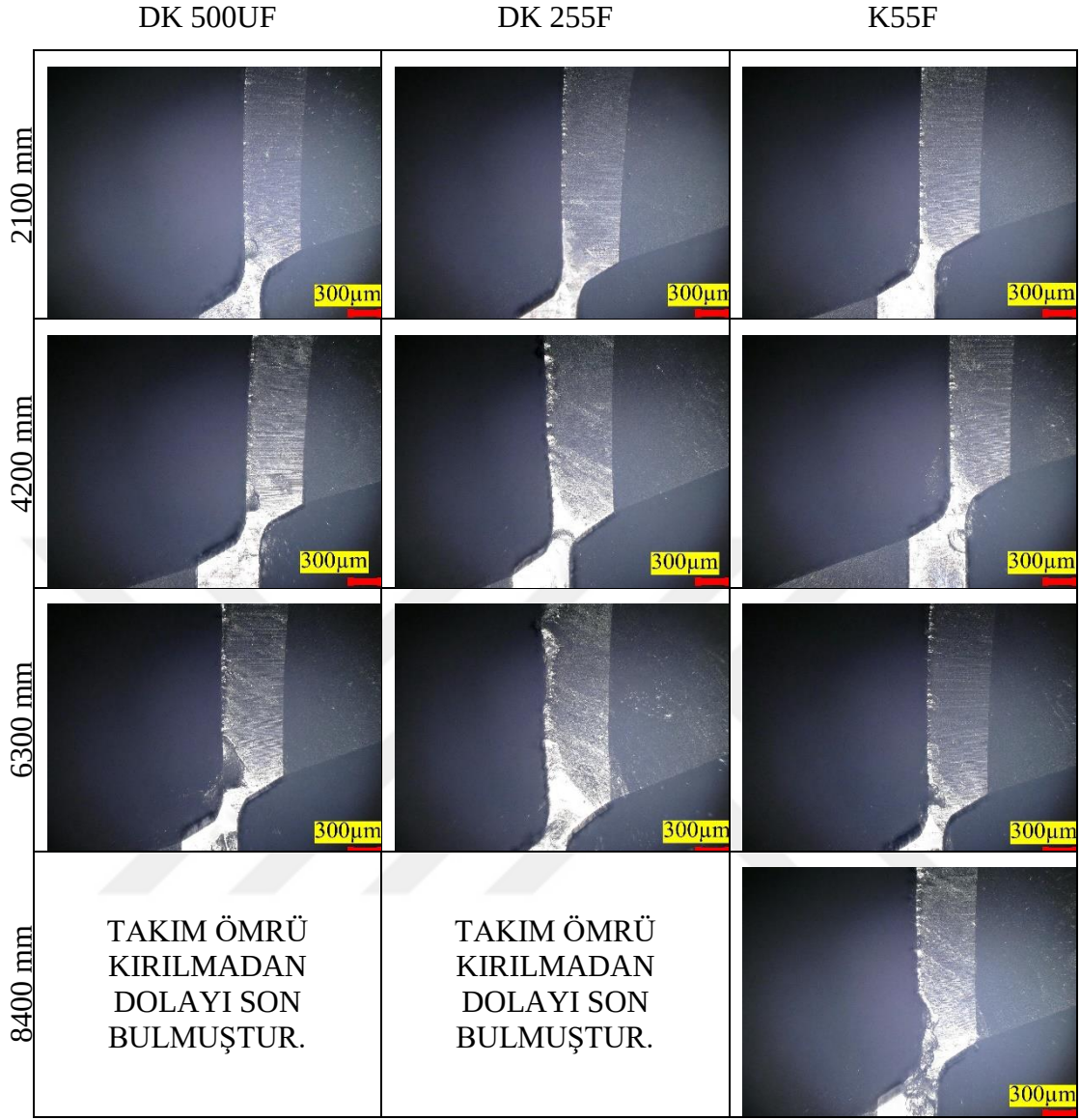
Deneylerde daha önce kullanılan tezgâh ve diğer ekipmanlar kullanılmıştır. Takım ömrünü kesici takımın iş parçası üzerinde almış olduğu mesafeyi baz alarak ömür tayini yapılmıştır. Talaşlı imalat operasyonunda tablo 3.7’de belirtilen kesme parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3.7. 3 Takım ömrü deneyleri için kullanılan parametreler

Kesme hızı (m/ dak)	ae (mm)	İlerleme (mm/ dev)	N (dev/dak)	Kesme Koşulları
150	0,5	0,05	4000	%7 Bor Yağ

Literatürde sert malzemelerin işlenmesinde genellikle kesici takımlarda görülen aşınma türleri bakacak olursak;

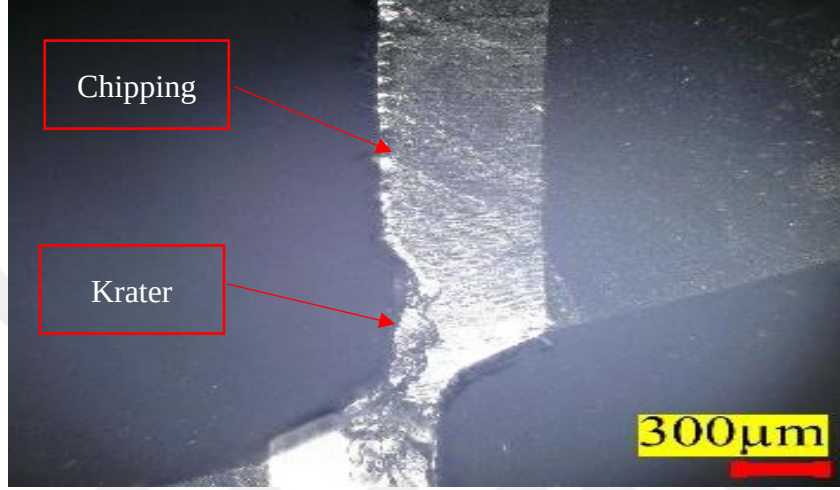
İş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olmasıyla meydana gelen abrasiv aşınma oluşmaktadır. Bu durumda kesici takımında daha çok Flank (serbest yüzey), krater aşınmaları görülmektedir. Ayrıca kesme işlemi esnasında meydana gelen yüksek sıcaklıkla birlikte adhezif ve termal çatlaklar oluşmaktadır. [32-33].



Şekil 3.13. Optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen Center bölgesindeki aşınma görüntüleri

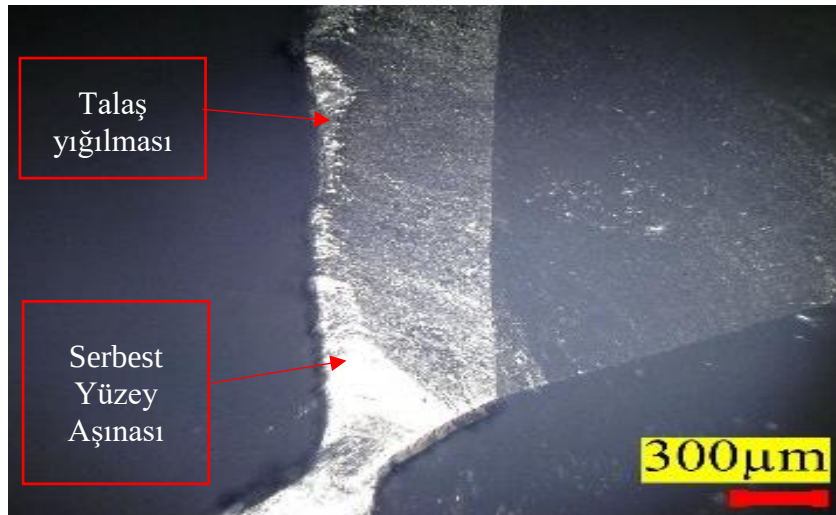
Şekil 3.13’ de farklı karbür kalitelerinin işleme boyuna bağlı olarak Center (merkez) bölgesinde aşınma görüntüleri verilmektedir. Burada 8400 mm kesme boyu ile K55F karbür kalitesine sahip takım en fazla ömre sahiptir. En düşük kesme boyuna sahip olan kalite ise DK500UF olarak gözlemlenmektedir. İlk iki kalitede 8400 mm ait aşınma görüntüleri mevcut değildir. Bunun sebebi OD bölgesindeki aşınma incelendiğinde ilk iki kaliteye ait takım ömrü OD kısmındaki kırılmalardan dolayı son bulmuştur. DK500 UF ve DK 255F kalitelerine baktığımızda DK 225F’ in DK 500UF ye göre daha fazla kobalt oranına sahip olması ve daha küçük tane yapısına sahip olması sebebiyle aşınmaya

dayanıklı daha sert bir takım olmasını ve yüksek kobalt oranı ile daha yüksek tokluğa sahip olması takımın aşınması yönünden daha uzun ömürlü olmasına sebep olmaktadır. Takımları incelediğimizde daha çok krater ve chipping (kırılmalar) aşınması gözlemlenmektedir. Şekil 3.14 ve 3.15'te takımlarda gözlemlenen aşınma türleri detayı olarak verilmektedir. Şekil 3.14 te baktığımızda sert malzemelerin işlenmesinde görülen kesici takımlarda mikro kırılmalar (chipping) ve krater aşınması saptanmıştır.

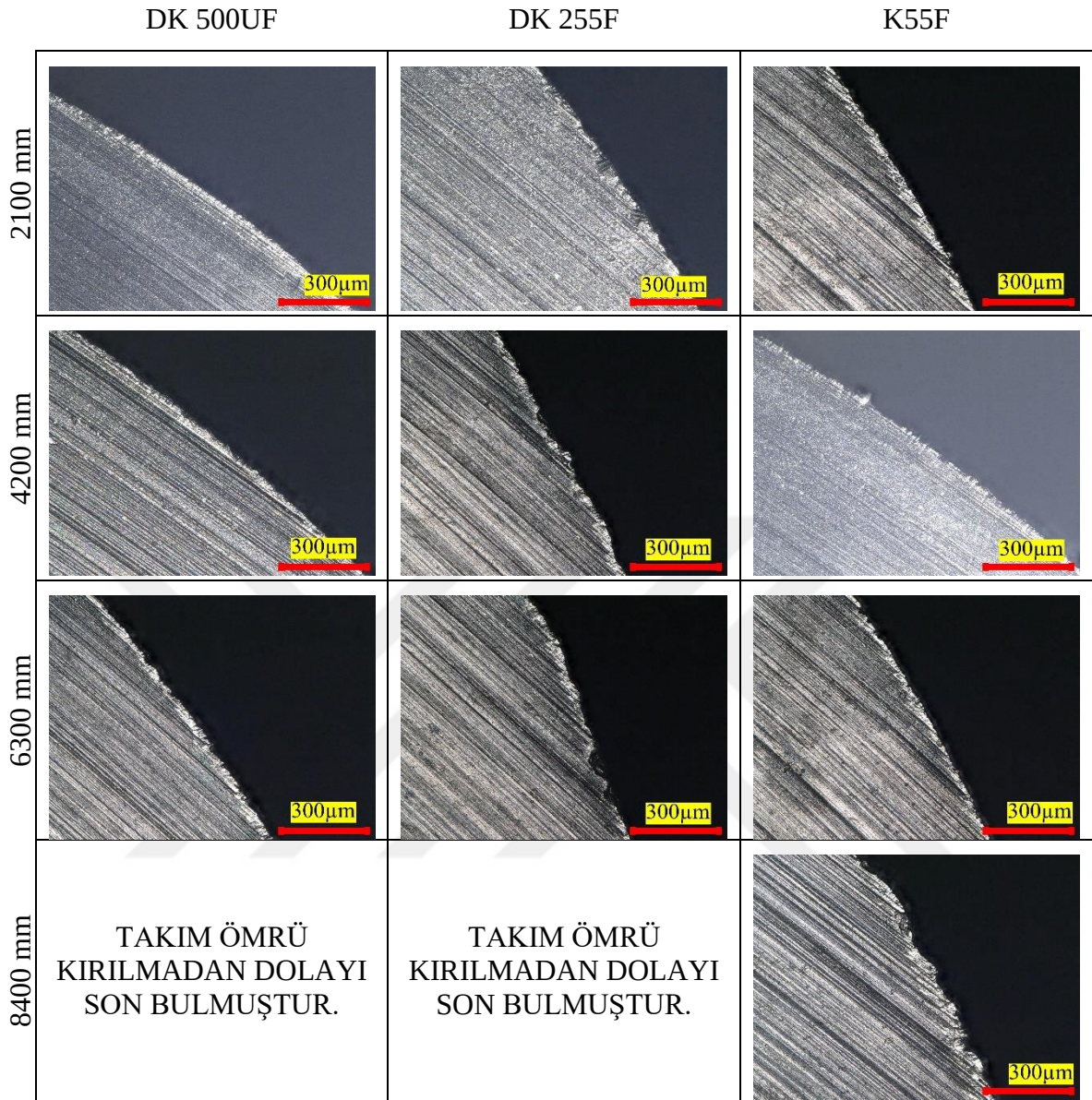


Şekil 3.14. 8400 mm K55F kalite takıma ait center bölgesinde oluşan aşınmanın optik mikroskop altındaki görüntüsü

Şekil 3.15' te ise yüksek sıcaklığa bağlı olarak talaş yığılması ve iş parçası ve kesici takım arasına giren sert tanecikler le birlikte oluşan serbest yüzey aşınması görülmektedir.

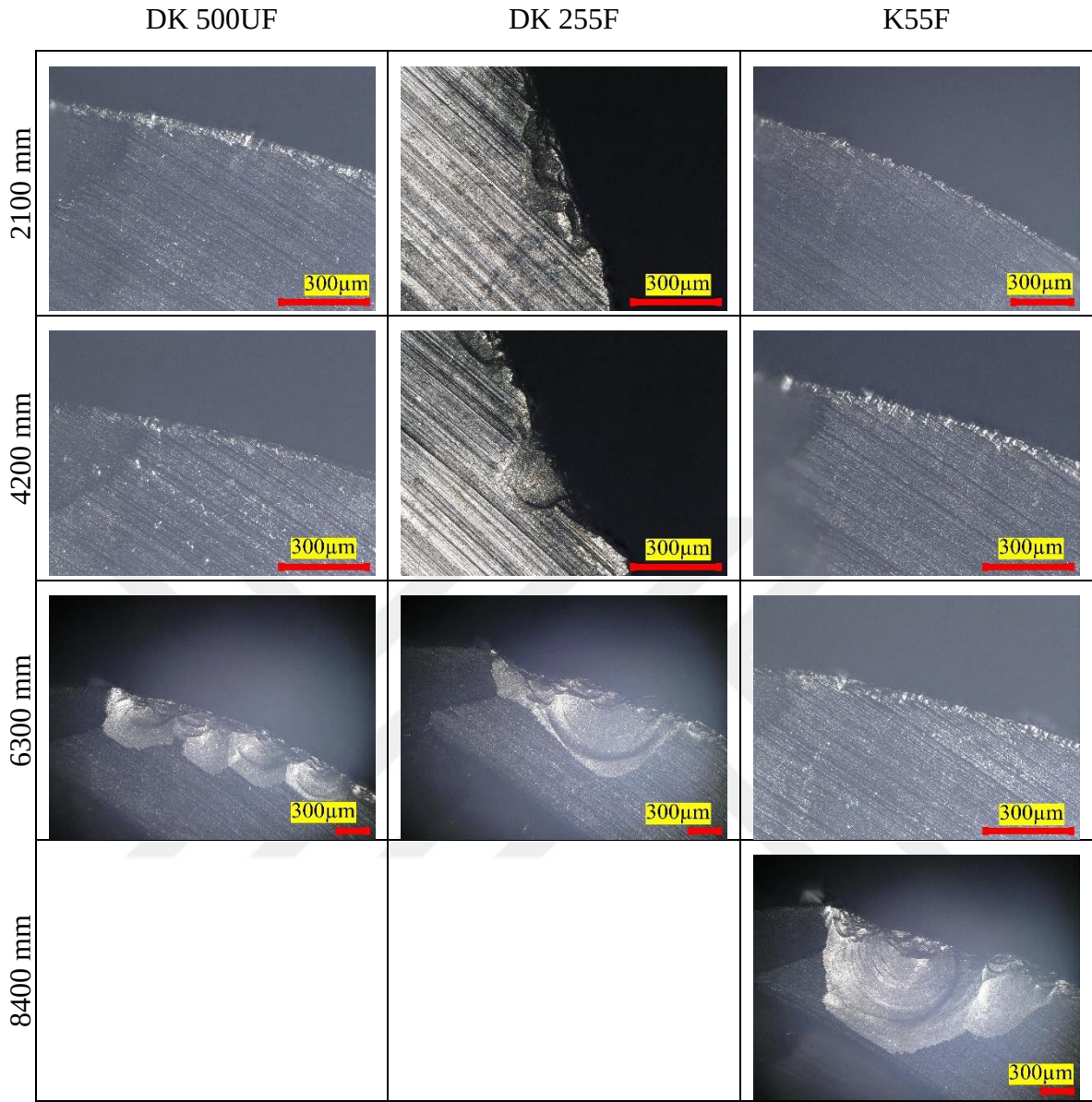


Şekil 3.15. 8400 mm DK 225F kalite takıma ait center bölgesinde oluşan aşınmanın optik mikroskop altındaki görüntüsü



Şekil 3.16. optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen Middle bölgesindeki aşınma görüntüleri

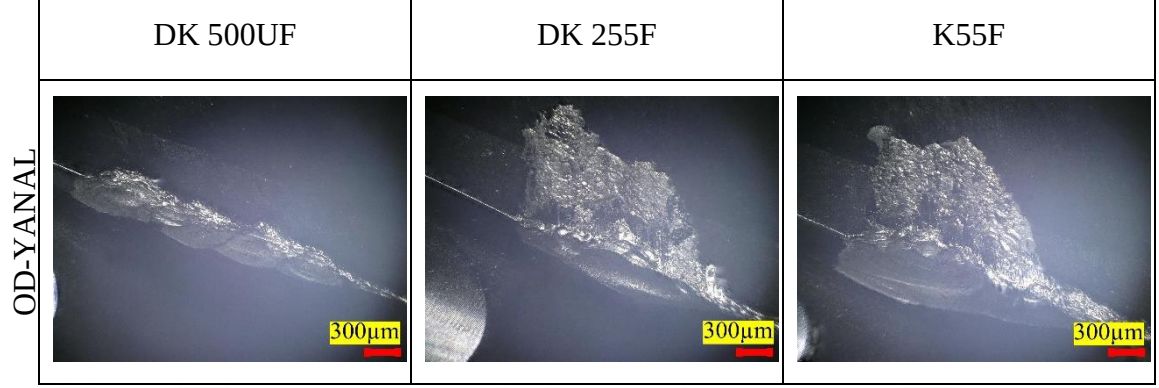
Şekil 3.16' te takıma ait Middle (orta) bölgesindeki aşınmalar incelenmiştir. Takım ömrü açısından takımların farklı kalitelerinde takım ömrü için net veriler alınamamıştır. Yine burada ilk iki kaliteye ait takım ömrü son bulduğu için 8400 mm ait veriler yoktur. Middle bölgesi incelendiğinde takımlar genellikle Chipping dediğimiz mikro kırıklar gözlenmektedir. Kaliteleri incelediğimizde takım aşınma en fazla DK 225F de gözlemlenmektedir. DK 500UF ve K55F te ise daha kararlı bir aşınma görülmektedir.



Şekil 3.17. Optimum geometride farklı karbür kaliteleri ile üretilen kesici takımlarda yapılan takım ömrü testinde elde edilen OD bölgesindeki aşınma görüntüleri

Şekil 3.17’ te OD bölgesindeki aşınmayı incelediğimizde ise esas takım ömrünü bu bölgenin belirlediğini görmekteyiz. 6300 mm’den sonra DK 500UF ve DK 225F kalite takımlarında kırılma görülmektedir. 6300 mm işlemeden önce DK 500UF de daha kararlı bir aşınma olduğu görülmesiyle birlikte DK 225F de kırılmalar kendisini 2100 mm de kendini göstermekte ve giderek artmaktadır. K55F de ise 8400 mm ye kadar kararlı bir aşınma görülmekte ve 8400 mm de ise takım kırılmış ve takım ömrünü tamamlamıştır.

DK 500UF kalitesini incelediğimizde DK 225F göre daha tok ve düşük taneye sahip olduğunu görmekteyiz. Bu durumda DK 500UF kalite ile üretilen takımda daha kararlı bir aşınma olmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.18. OD bölgesinde takım ömrünü tamamlamış takımlara ait optik mikroskopta alınmış yanıl aşınma görüntüleri

Şekil 3.18’ de ise ömrünü tamamlamış takımlara ait OD bölgesine ait yanıl aşınma görüntüleri verilmektedir.

Karbür kalitelerine göre takım ömürlerini göz önüne aldığımızda takımın OD bölgesinde takım ömrünü tahin etmekte olup, K55F kalite ile üretilen takımın diğer kalitelere göre daha uzun takım ömrüne sahip olduğu saptanmıştır.

4. BULGULAR VE SONUÇLAR

Tez çalışmasında kalıpcılık sektöründe kullanılan sertleştirilmiş çeliklerin talaşlı imalat operasyonunda kullanılan küresel başlı (ballnose) parmak frezelerin geometrik ve farklı karbür kaliteleri kıyaslanarak incelenmiştir.

Yapılan deneylerde farklı Axial rake (eksenel talaş açısı) açıları kapsamında yapılan çalışmalarda elde edilen kuvvet, yüzey ve aşınma değerleri kıyaslanarak optimum takım geometrisi ve karbür kalitesi kıyaslanmıştır.

Kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde küresel başlı frezelerin farklı Axial rake açılarının farklı değerleri ele alınmıştır. Center bölgesinden OD bölgesine doğru negatif değerli açılı değerlerden pozitif değerleri açılara doğru kesme kuvvetlerinin optimum olduğu tespit edilmiştir. Bunun da en büyük sebebi bu bölgelerde giderek artan talaş kalınlığıyla birlikte takımın kesmeye karşı göstereceği direnci azalmak adına negatif değerli talaş açısından pozitif değerli talaş açısına sahip takım geometrisinin sahip olması gerekmektedir.

Yüzey pürüzlülüklerini incelediğimizde ise kesme kuvveti ile doğru orantılı olarak düşük kesme kuvvetinde takımın daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilirken, yüksek kesme kuvvetinde daha kötü bir yüzey kalitesi görüldüğü saptanmıştır.

Takım aşınmasını incelediğimizde ise farklı kalitedeki karbür kalitelerin sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde en önemli hususun, ham karbür malzeme içerisinde bulunan tane yapısını ve kobalt oranı ile birlikte oluşan kombinasyonun yüksek sertlik ve tokluk sahip, yani kırılmaya karşı dayanabileceği enerjinin fazla olan karbür kalitesinin bu tür sert malzemelerin takım ömrü açısından daha uzun ömürlü olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Özocakcıoğlu, A. "Sertleştirilmiş AISI 4140 Çelik Malzemenin İşlenmesinde Seramik Kesici Takımda Oluşan Aşınmanın İncelenmesi." Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye (2016): 17-18
2. Kısasöz, Alptekin. "Sıcak iş takım çeliklerinin elastikliğine ısı işlemlerin etkisi." (2010).
3. Wang, Chengyong, et al. "Research on the chip formation mechanism during the high-speed milling of hardened steel." International Journal of Machine Tools and Manufacture 79 (2014): 31-48.
4. C.Y. Wang, D.W. Tang, Z. Qin, Z.G. Chen, Y.N. Hu. Cutting Forces and Vibration of Pockets Corner by High Speed Milling, Adv. Mater. Res. 69-70(2009) 59-63.
5. Stein, J. M., and D. A. Dornfeld. "Integrated design and manufacturing for precision mechanical components." Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Springer, Dordrecht, 1997. 367-376.
6. Nelson, S., J. K. Schueller, and J. Tlustý. "Tool wear in milling hardened die steel." (1998): 669-673.
7. Davim, J. Paulo, ed. Machining of hard materials. Springer Science & Business Media, 2011.
8. Wang, Bing, and Zhanqiang Liu. "Cutting performance of solid ceramic end milling tools in machining hardened AISI H13 steel." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 55 (2016): 24-32.
9. Gopalsamy, Bala Murugan, Biswanath Mondal, and Sukamal Ghosh. "Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel." (2009).
10. Boogert, R. M., H. J. J. Kals, and Frederikus JAM van Houten. "Tool paths and cutting technology in computer-aided process planning." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 11.3 (1996): 186-197.
11. Noordin, Mohd Yusof, et al. "Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel." Journal of materials processing technology 145.1 (2004): 46-58.
12. Beşliu, Irina, Dumitru Amarandei, and Delia Cerlincă. "Analysis of chip formation and cutting forces in end milling AISI D2 tool steel with different cutting tool geometries." MATEC Web of Conferences. Vol. 178. EDP Sciences, 2018.
13. Wang, Chengyong, et al. "Research on the chip formation mechanism during the high-speed milling of hardened steel." International Journal of Machine Tools and Manufacture 79 (2014): 31-48.
14. C.Y. Wang, D.W. Tang, Z. Qin, Z.G. Chen, Y.N. Hu. Cutting Forces and Vibration of Pockets Corner by High Speed Milling, Adv. Mater. Res. 69-70(2009) 59-63.

15. Chinchanikar, Satish, and S. K. Choudhury. "Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach." *Measurement* 46.4 (2013): 1572-1584.
16. Chinchanikar, Satish, and Sounak K. Choudhury. "Experimental investigations to optimise and compare the machining performance of different coated carbide inserts during turning hardened steel." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 228.9 (2014): 1104-1117.
17. Astakhov, Viktor P. "Machining of hard materials—definitions and industrial applications." *Machining of hard materials*. Springer, London, 2011. 1-32.
18. Yaşar, S. A. "17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması" . *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 10 (2020): 71-81
19. Parametric Modeling Program of Fillet End Mill Jiapu Zhu A Thesis In the Department of Mechanical and IndustrialEngineering(kaynakça)
20. Zhu, Jiapu. Parametric modeling program of fillet end mill. Diss. Concordia University, 2016.
21. Kao, Yung-Chou, et al. "A combination method of the theory and experiment in determination of cutting force coefficients in ball-end mill processes." *Journal of Computational Design and Engineering* 2.4 (2015): 233-247.
22. Jawahir, I. S., et al. "Surface integrity in material removal processes: Recent advances." *CIRP annals* 60.2 (2011): 603-626.
23. Totten, George E., ed. *Steel heat treatment: metallurgy and technologies*. CRC press, 2006.
24. Roberts, George Adam, Richard Kennedy, and George Krauss. *Tool steels*. ASM international, 1998.
25. Krauss, George. *Steels: processing, structure, and performance*. Asm International, 2015.
26. Uniontoolco.Basico fendmill,https://www.uniontool.co.jp/en/assets/pdf/product/end_mill/index_0301_01.pdf
27. <https://www.mekanika.io/blog/learn-1/end-mill-selection-guide-4>
28. <https://www.mscdirect.com/basicsof/end-mills>
29. Helical Quick Reference eBook for CNC Milling Practices & Techniques MACHININGGUIDEBOOK,https://mae.ufl.edu/designlab/Advanced%20Manufacturing/Helical_Machining_Guidebook.pdf
30. EndMillTrainingnachi,<https://www.nachiamerica.com/content/training/End%20Mill%20Training%20Website.pdf>
31. https://www.swisssteel-international.cz/pdf/GB_Thermodure38k.pdf
32. Dolinšek, Slavko, and Janez Kopač. "Mechanism and types of tool wear; particularities in advanced cutting materials." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 19.1 (2006): 11-18.

33. <https://meryemgokoglu.files.wordpress.com/2016/11/6kesici-takimlardaki-asinmalar.pdf>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ferhat ÇELİK

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans :Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans :Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

İŞ TECRÜBELERİ

Torun Bakır Alaşımları Metal San. Ve Tic. A.Ş.

Görevi: Takımhane Üretim Mühendisi

Başlangıç yılı: 2019

Bitiş yılı: Devam ediyor

YAYINLAR

- Zoghipour, N., Tascioglu, E., Celik, F., & Kaynak, Y. (2022). The influence of edge radius and lead content on machining performance of brass alloys. Procedia CIRP, 112, 274-279.
- ZOGHIPOUR, N., YARATAN, A., ÇELİK, F., & KAYNAK, Y. (2022). Influences of Cutting Strategies and Parameters on Tool Wear in Threading Operation of 316L Stainless Steel. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 20(1), 29-35.