



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÖZEL İMALAT KARBÜR, EXT-CrN VE TiSiN KAPLI FREZE UÇLARININ DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

AYDAN ÜSTÜNDAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr.Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

İSTANBUL, 2021



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÖZEL İMALAT KARBÜR, EXT-CrN VE TiSiN KAPLI FREZE UÇLARININ DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

AYDAN ÜSTÜNDAĞ

(523217014)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr.Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

İSTANBUL, 2021

ÖNSÖZ

Lisansüstü tez çalışmam boyunca, bütün bilgi birikimiyle ve tecrübesiyle bana ışık tutup, yön veren ve tez çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (MÜBAP) birimine teşekkür ederim. (Proje No: FEN-C-YLP-150218-0058)

Ayrıca deneysel çalışmaların yapılabilmesi için gerekli olan kesici uçların temin edilmesi ve sonrasında kesici uçların kaplanmasında bana destek veren kaplama firmalarına (Kapco Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti ve Titanit Ultra Sert Kaplamalar San. Tic. Ltd. Şti.), deneysel uygulamaları gerçekleştirmeme yardımcı olan, fırsat tanıyan Bilim Makine A.Ş. ve çalışanlarına katkıları için teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince her zaman bana bu yolda sabır gösterdikleri, motive ettikleri, zorlukları benimle paylaştıkları ve yanımda oldukları için aileme en derin sevgilerimi ve saygılarımı sunarım.

Şubat 2021

Aydan Üstündağ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Talaşlı İmalat ve İşlenebilirlik.....	1
1.1.1. Talaşlı İmalat İşlemi.....	1
1.1.2. İşlenebilirlik, İşlenebilirliğin Tanımı ve Önemi.....	4
1.2. Kesici Takımlar.....	6
1.2.1. Freze Kesici Uçları.....	7
1.2.2. Kaplamalı Kesici Takımlar	9
1.3. Kesici Takımlarda Aşınma	17
1.3.1. Aşınma Mekanizması.....	17
1.3.2. Kesici Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri.....	18
1.3.3. Kesici Takım Ömrü.....	19
1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	21
1.3.5. Kesme Sıvıları	22
1.4. Literatür Araştırması.....	23
2. DENEYSEL UYGULAMALAR VE PARAMETRELER.....	28
2.1. Araştırma Metodu	28

2.1.1. Deney Tasarımı	30
2.2. Deneysel Çalışma	31
2.2.1. Kesme Parametreleri	32
2.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan İş Parçası (DIN 1.3247).....	33
2.3.1. Deneyde Kullanılan İş parçasının Hazırlanması (DIN 1.3247)	35
2.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kesici Takımlar	37
2.4.1. Karbür Kesici Takımlar.....	38
2.4.2. EXT-CrN Kaplamalı Kesici Takımlar	39
2.4.3. TiSiN Kaplamalı Kesici Takımlar.....	39
2.5. Deneyde Kullanılan Değişken Parametreler	42
2.6. Deneysel Çalışmada Kullanılan CNC Freze Tezgâhı	42
2.6.1. CNC Freze Tezgâhında Programlama ve Uygulama	45
2.7. Deney Çalışmasında Kullanılan Yüzey Pürüzlülük Cihazı	45
2.8. Taguchi Optimizasyonu	46
3. DENEYSEL SONUÇLAR	48
3.1. İş Malzemesinin Yüzey Pürüzlülük ($Ra(\mu m)$) Değerlerinin İncelenmesi	48
3.1.1. Karbür Freze Kesici Ucu İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü.....	49
3.1.2. EXT-CrN Kaplamalı Freze Kesici Ucu İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü.....	51
3.1.3. TiSiN Kaplamalı Freze Kesici Ucu İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü.	53
3.2. Metalurjik Mikroskop Analizleri	55
3.2.1. Karbür Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri	57
3.2.2. EXT-CrN Kaplamalı Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri.....	59
3.2.3. TiSiN Kaplamalı Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri	61
3.3. Optimizasyon ve Analiz Tekniği	63
3.3.1. Optimizasyon Metodunun Uygulanması.....	64

3.3.2. Regresyon Analiz Yöntemi	66
3.3.3. Taguchi Analizi: Karbür, EXT-CRN, TiSiN	66
4. GENEL SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	74
KAYNAKLAR.....	77
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

ÖZEL İMALAT KARBÜR, EXT-CrN VE TiSiN KAPLI FREZE UÇLARININ DENEY TASARIMI YÖNTEMİ İLE PERFORMANSININ OPTİMİZASYONU

Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen parçaların minimum maliyet ve maksimum kaliteye sahip olmaları istenmektedir. Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen bu ürünlerin kalitesi öncelikli olarak işlenen yüzey kalitesine ve ölçü tamlığına göre belirlenir. “Özel İmalat Karbür, EXT-CrN ve TiSiN kaplı freze uçlarının deney tasarımı yöntemi ile performansının optimizasyonu” çalışmamız, sanayii sektörü için ve bilimsel çalışma yapacak olan mühendisler için bu konuda yapılan ve örnek teşkil edecek önemli bir deneysel uygulamadır. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen verilerde optimizasyon metodunun uygulanması ile kesici takımların farklı işleme kriterlerinde performansları optimize edilmiştir.

Bu çalışmada farklı malzemelerle kaplanmış kesici takımlar, Karbür, EXT-CrN ve TiSiN Kaplı Freze Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi ile Performansının Optimizasyonunda devir sayısı (dev/dak), kesme hızı (m/dak), ilerleme hızı (mm/dak), kesme derinliği (mm) parametreleri ile farklı işlem yapılmış ve farklı değerlerindeki performansları incelenmiştir. Çalışmada DIN 1.3247 ısıtılmış çelik malzeme işlenmiştir. Çalışmada özellikle frezeleme işleminde kesici takımlarda oluşan aşınma mekanizmaları üzerinde durulmuş ve ayrıca verilen parametreler dikkate alınarak malzeme üzerinde operasyonlarda yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu deneysel çalışma için DIN 1.3247 çelik malzeme den 9 adet belirlenen ölçülerde malzeme kullanılmıştır. DIN 1.3247 çelik malzemenin işlenebilirliği, aynı grupta bulunan çelikler, titanyum ve magnezyum alaşımları ile kıyaslandığında daha yaygın kullanılan bir ürün olduğu için tercih edilmiştir. Deneysel çalışmada belirlenen, kesme işleme metodu olan frezeleme işlemi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. DIN 1.3247 çelik malzemesine CNC freze tezgâhında kesme parametrelerinden olan devir sayısı ve ilerleme hızının üç farklı değeri kullanılarak 9 adet iş parçası üzerinde 3 kademe şeklinde farklı ölçümlerde deneysel çalışma yapılmıştır. Devir sayısı için değerler; 3000-6000-9000 dev/dak, kesme hızı için değerler; 160m/dak, 120m/dak, 80m/dak, ilerleme hızı için değerler; 0.08mm/dak,

0,16mm/dak ve 0.24 mm/dak, kesme derinliği için değerler, 0,5mm, 1mm, 1,5 mm olarak belirlenmiştir. Deney için belirlenen bir başka faktör ise frezeleme uç tipleri olmuştur. Bunlar; karbür, EXT-CrN kaplamalı karbür ve TiSiN kaplamalı karbür freze kesici uçlarıdır. Her bir yüzey frezeleme işlemi için 5 uç takılabilen frezeleme tarama kafası kullanılmıştır.

Bu deney çalışmasında DIN 1.3247 ısıt ışlem görmüş elik malzeme için kesme sıvısı kullanılmıştır. Belirlenen kesme parametre değerleri ile kesme işlemi sonucu oluşan iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri ve kullanılan farklı kesici uçların uç aşınmaları incelenmiştir. Deneysel alışma sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri için TAGUCHI optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp, grafik ve tablo değerleri yorumlanmıştır. Elde edilen en uygun sonuçlar her işlem değerinde en iyi yüzey pürüzlülük değerleri, TiSiN kaplı freze uçlarının performansının daha iyi olduğu grlmştir. İşlemede genel olarak kaplama aşınması oluşmuştur fakat uç kırılması gözlemlenmemiştir. DIN 1.3247 elik malzemenin işlenmesi sonucu çıkan talaşlar; sürekli, süreksiz ve helisel yapısı bozulmuş talaş olarak sınıflandırılmıştır.

Deney sonuçları, Taguchi yönteminin L27 dizilimi kullanılarak değerlendirilmiştir ve tahmin edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin deney sonucunda ortaya çıkan değerlere oldukça yakın olduğu grlmştir. Deneyde oluşan 27 farklı yüzey için yüzey pürüzlülük değerleri llmştir. Elde edilen değerler kullanarak regresyon analizi uygulanarak kesici uç tipinin, yüzey pürüzlülüğü üstünde en büyük etkiyi oluşturduğu tespit edilmiştir. Deneysel alışma sonucunda, kullanılan kesici uçlarda oluşan aşınmalar mikroskop görüntüleri ile incelenmiştir. Bu çalışmada kaplamasız kesici takım ile kaplama yapılmış kesici takımlar karşılaştırılmıştır. Kaplamalı kesici takımlar ile kaplamasız kesici takımlar kıyaslandığında kaplamanın takım mrnde artış ve işleme kolaylığı sağladığı grlmştir.

ABSTRACT

SPECIAL MANUFACTURING CARBIDE, EXT-CrN AND TiSiN COATED TO THE MILLING WITH EXPERIMENTAL DESIGN METHOD OPTIMIZATION OF PERFORMANCE

The parts produced by the machining method are required to have minimum cost and maximum quality. The quality of these products, which are produced by machining method, is primarily determined by the quality of the processed surface and the accuracy of the size. Our study of "Optimization of the performance of milling cutters made of special manufacturing carbide, EXT-CrN coated and TiSiN Coated with the method of experimental design" is an important experimental practice that will set an example for the industrial sector and for the engineers who will do scientific studies. With the application of the optimization method in the data obtained in the experimental study, the performances of the cutting tools in different processing criteria have been optimized.

In this study, cutting tools coated with different materials; carbide, EXT-CrN coated and TiSiN coated milling inserts with experimental design method, speed (rpm), cutting speed (m/min), feed rate (mm/min), depth of cut (mm) parameters were processed differently and their performances at different values were examined. DIN 1.3247 heat treated steel material was processed in the study. In the study, the wear mechanisms that occur in cutting tools especially in the milling process were focused on and also, taking into account the given parameters, the surface roughness values were measured and compared in the operations on the material. For this experimental study, 9 pieces of material of DIN 1.3247 steel material were used. The workability of DIN 1.3247 steel material is preferred because it is a more widely used product compared to the steels in the same group, titanium and magnesium alloys. The milling process, which is the cutting processing method determined in the experimental study, is widely used. An experimental study was carried out on 9 workpieces in 3 stages by using three different values of the speed and feed rate, which are the cutting parameters of a CNC milling machine, on steel material DIN 1.3247. Values for speed; 3000-6000-9000 rpm, values for cutting speed; Values for 160m / min, 120m / min, 80m / min, feed rate; 0.08mm /

min, 0.16mm / min and 0.24mm / min, values for cutting depth are determined as 0.5mm, 1mm, 1.5mm. Another factor determined for the experiment was the milling insert types. These are carbide, EXT-CrN coated carbide and TiSiN coated carbide milling inserts. For each face milling operation, a milling scan head with 5 inserts can be installed.

In this experimental study, cutting fluid was used for DIN 1.3247 heat treated steel material. With the determined cutting parameter values, the surface roughness values of the work pieces formed as a result of the cutting process and the tip wear of the different inserts used were examined. TAGUCHI optimization was performed for the measured surface roughness values at the end of the experimental study. The results obtained as a result of the optimization were compared and the graph and table values were interpreted. The best results obtained were found to have the best surface roughness values at each process value, and the performance of TiSiN coated milling cutters was better. Coating abrasion occurred in general during machining, but no tip breakage was observed. Chips resulting from processing steel DIN 1.3247; It is classified as continuous, discontinuous and helical chips.

The results of the experiment were evaluated using the L27 orthogonal of Taguchi method and it was observed that the estimated surface roughness values were very close to the values obtained at the end of the experiment. Surface roughness values were measured for 27 different surfaces formed in the experiment. Using the obtained values, regression analysis was applied and it was determined that the insert type had the greatest effect on the surface roughness. As a result of the experimental study, the abrasions on the inserts used were examined with microscope images. In this study, uncoated cutting tool and coated cutting tools were compared. When the coated cutting tools and uncoated cutting tools are compared, it has been seen that the coating provides an increase in tool life and ease of processing.

SEMBOLLER

a_p : Kesme Derinliği (mm)

D : Freze tarama kafası çapı (mm)

f : İlerleme Oranı (mm/dev)

F_p : İlerleme Kuvveti (N)

F_c : Toplam Teğetsel Kuvvet (N)

k_c : Özgöl Kesme Kuvveti (N/mm²)

M : Tork (Nm)

n : Devir Sayısı (dev/dak)

P_c : Güç (kw)

R_a : Ortalama Yüzey Pürüzlölüğü (mikrometre)

R_z : Yüzey Pürüzlölük Kesitinin En Yüksek ve En Düşük Noktaları Arasındaki Dikey Mesafe

R_q : Geometrik Ortalama Pürüzlölük Değeri

V_c : Kesme Hızı (m/dak)

V_f : İlerleme Hızı (mm/dak)

Z : Takım Ömrü (dak)

μ : Sürtünme Katsayısı

η : Verim

KISALTMALAR

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

CNC : Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrol

CrN : Krom Nitrür

CVD : Kimyasal Buhar Biriktirme

DLC : Elmas Benzeri Karbon

EXT-CrN: Ekstra Krom Nitrür

HK : Knoop Sertlik Birimi

HRC : Rockwell Sertlik Birimi

HSS : Yüksek Hız Çelikleri (Seri Çelik)

MMY : Minimum Miktarda Yağlama

MRR : Birim zamanda kaldırılan hacim

NC : Sayısal Kontrol

PVD : Fiziksel Buhar Biriktirme

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür

TiC : Titanyum Karbür

TiCN : Titanyum Karbonitrür

TiN : Titanyum Nitrür

TiSiN: Titanyum Silisyum Nitrür

WC : Tungsten Karbür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 - a) Sürekli talaş b) Süreksiz Talaş c) Dilimli talaş d) Yığıntı Talaş	6
Şekil 2.1 - İş parçasının teknik resim ölçülendirilmesi	29
Şekil 2.2 - Deneysel çalışma için malzeme ısıtma işlem şeması	34
Şekil 2.3 - İşlenecek 9 adet iş parçasının 3 boyutlu teknik resmi	35
Şekil 2.4 – İşlenecek 9 adet iş parçasının 3 boyutlu teknik resmi (perspektif görünüm).....	36
Şekil 2.5 – İş parçasının mengeneyle bağlanma aşaması	36
Şekil 2.6 - Deneysel çalışmada kullanılan tarama kafası	37
Şekil 2.7 - Deneysel uygulamada kesici tarama kafasının tezgâha monte edilmesi	38
Şekil 2.8 - Kesme işlemlerinde kullanılan KARBÜR ve EXT-CrN kaplamalı kesici takımlardan bir seri	41
Şekil 2.9 - Kesme işlemlerinde kullanılan TiSiN kaplamalı ve KARBÜR kesici takımlardan bir seri	41
Şekil 2.10 – Deneysel çalışmada kullanılan CNC kontrol paneli(a) ve CNC freze tezgâhı (b)	43
Şekil 2.11 - CNC freze tezgâhında işlenen DIN 1.3247 çelik malzeme	44
Şekil 2.12 - Kesici uçların tarama kafasına takılması	44
Şekil 2.13 - Mahr Perthometer M2 model cihaz	45
Şekil 3.1 - Karbür kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği	51
Şekil 3.2 - Karbür kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği	51
Şekil 3.3 - EXT-CrN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği ..	53
Şekil 3.4 - EXT-CrN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği ..	53
Şekil 3.5 - TiSiN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği	55
Şekil 3.6 - TiSiN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği	55
Şekil 3.7 - Metalurjik mikroskopta kesici uçların aşınma yapısının incelenmesi	56
Şekil 3.8 - Karbür kesici ucun aşınma görüntüleri (a), (b)	57
Şekil 3.9 – Karbür kesici ucun aşınma görüntüleri (c), (d)	58
Şekil 3.10 – Karbür kesici ucun aşınma görüntüsü (e)	59
Şekil 3.11 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (a), (b)	59
Şekil 3.12 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (c), (d)	60
Şekil 3.13 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüsü (e)	61
Şekil 3.14 - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (a), (b)	62

Şekil 3.15 - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (c), (d)	62
Şekil 3.16 - KARBÜR - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüsü (e)	63
Şekil 3.17 - Histogram dağılımına göre sıklık derecesi	65
Şekil 3.18 - Normal olasılık grafiği.....	65
Şekil 3.19 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçlarında oluşan SN oranı için ana etki grafiği	68
Şekil 3.20 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği	69
Şekil 3.21 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği	69
Şekil 3.22 - 27 Yüzey kullanılarak oluşturulmuş normal olasılık grafiği	70
Şekil 3.23 - Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için oluşan histogram	70
Kesme derinliğine bağlı olarak düzenli bir ana etki grafiği elde edilmiştir. Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 'de deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği gösterilmiştir.	70
Şekil 3.24 - Deneysel çalışmada kullanılan kesme hızı ve kesme derinliği grafiği	71
Şekil 3.25 - Deneysel çalışmada işlenen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.....	71
Şekil 3.26 - Deneysel çalışmada ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin dağılım grafiği	72

TABLO LİSTESİ

Tablo 1- Bazı kaplama türlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	13
Tablo 2.1 - Deneysel çalışmada kullanılan değişken parametreler.....	32
Tablo 2.2 - Deneysel çalışmada kullanılan değişken ölçüm değerleri ve yüzey ölçüm sonuçları	33
Tablo 2.3 - DIN 1.3247 çelik malzemenin kimyasal özellikleri.....	34
Tablo 2.4 - Devir sayısına göre kesme hızları	42
Tablo 3.1 - Deneysel işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	49
Tablo 3.2 - Deneysel çalışmada karbür kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler	50
Tablo 3.3 - Karbür kesici ucun işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri	50
Tablo 3.4 - Karbür kesici ucun kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri	50
Tablo 3.5 - Deneysel çalışmada EXT-CrN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler.....	52
Tablo 3.6 – EXT-CrN kaplamalı uçların işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri	52
Tablo 3.7 – EXT-CrN kaplamalı kesici uçların kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri.....	52
Tablo 3.8 - Deneysel çalışmada TiSiN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler.....	54
Tablo 3.9 – TiSiN kaplamalı uçların işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri.....	54
Tablo 3.10 – TiSiN kaplamalı kesici uçların kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri.....	54
Tablo 3.11 - Aşınmaları görüntülemek için kullanılan Olympus SC30/BX41M led mikroskopunun teknik özellikleri.....	56

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Kesici takımlarda aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucunda daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici uç üzerinde daha fazla gerilme oluşturur. Aşınmış kesici takımlarda, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar.

Devir sayısı ve yüksek kesme hızı aynı zamanda, kesici takımlarda ve iş parçası yüzeylerinde uygun olmayan yüzeysel aşınmalara neden olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalürjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir.

1.1. Talaşlı İmalat ve İşlenebilirlik

1.1.1. Talaşlı İmalat İşlemi

Günümüzde birçok parçanın üretilmesinde talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Takım tezgâhları kullanılarak bir kesici yardımıyla talaş kaldırarak, parçaların önceden belirlenmiş boyut, geometri ve yüzey kalitesinde üretilmesi işlemine talaşlı imalat denir [1]. Boyut, geometri ve yüzey kalitelerindeki avantajlardan dolayı birçok parçanın üretiminde talaşlı imalat tercih edilmektedir [2]. Kısa bir zamanda gerçekleşmesine rağmen, talaşsız imalat yöntemleri, yüzey, boyut ve şekil kalitesi bakımından, parçada istenilen kaliteyi sağlayamamaktadır. Bu nedenle bu şekilde imal edilen parçaların yüzeylerinin bir kısmı veya tamamı, talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmektedir [3].

Talaş kaldırma işleminin sistematığı, takım ile iş parçası arasındaki izafi hareketlere, takım ucunun geometrisine ve takımların kesici uç sayılarına göre ayarlanabilir. Talaş kaldırma işlemi, takım ile iş parçası arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile iş parçası arasında kesme, ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç tür hareket vardır.

Kesme hareketi temel talaş kaldırma hareketidir [4]. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareket ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımı başlangıç noktasına getirme gibi kesme öncesi ve sonrası hareketleri kapsar [5]. Genellikle kesme hareketi dönme ya da doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusaldır. Bu hareketlerin iş parçası ya da takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini oluşturur. Herhangi bir ürünün imalatında birçok işleme metodu mevcuttur. Bunlar şöyle sınıflandırılabilir: Geleneksel talaş kaldırma işlemleri; tornalama, vargelleme, planyalama, delme - delik büyütme, raybalama, kesme, tığ çekme, frezeleme, taşlama, dişli çark yapma, geleneksel olmayan talaş kaldırma işlemleri ise; ultrasonik, elektrikle boşaltma, lazerle kesme, elektromagnetizma, aşındırıcı jet, elektro sıvama, plazma püskürtme vb. işlemlerdir [6]. Bu ikinci gruptaki işlemlerde çoğu parçaların hassas olması ve küçük talaş miktarlarında işlenmesi nedeniyle istenilen yerlerde kullanılır. Bu işlemlerin hepsi ya gidip gelme ya da dönme prensibine göre çalışır. Talaş kaldırma işleminin amacı parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından imalat resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işleme kalitesi denir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir [4].

1.1.1.1. Talaşlı İşlemlerin İmalat Uygulamasındaki Yeri

Talaşlı üretim; iş parçası yüzeyinden, daha sert bir kesici takım kullanarak küçük parçacıklar halinde malzeme (talaş) koparmak için yapılan şekil verme (vida/diş/kanal açma vb.) işlemleridir. Talaşlı imalat tek bir işlem değil, bir grup işlemlerden oluşmaktadır. Bunların ortak paydası kesici takım ile iş parçasından talaş atılmasıdır. Operasyonun yapılabilmesi için takım ile iş parçası arasında izafi harekete ihtiyaç vardır [51].

Talaş kaldırma metotlarında kullanılan kesici takım geometrisi ve kalite yelpazesi, kullanılan takım tezgâhı ve işleme yönteminin tipi, CNC takım tezgâhlarının ve CAM yazılımlarının sağladığı zengin talaş kaldırma süreçlerinde kullanılan takım yolu önemlidir. Çalışma geometrileri, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı gibi kesme parametrelerinin farklılıkları, her bir kesme seviyesinde operatörün müdahale

edebilmesi, kullanılan soğutma yöntemleri gibi daha sayısı arttırılabilecek birçok değişkenin var olması sonucunda, işlenebilirlik kavramının değerlendirilmesi zordur [52].

Üretim yöntemleri ana hatlarıyla fiziksel-kimyasal ve mekanik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Mekanik yöntemler kendi içinde talaşlı ve talaşsız üretim yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Talaşlı üretim yöntemleri; tornalama, frezeleme, delik delme, planyalama ve vargelleme, taşlama, broşlama, lepleme ve honlama olarak sınıflandırılabilir. Talaşsız üretim yöntemleri genel olarak; döküm, dövme, haddeleme, tel çekme, derin çekme, sıvama, bükme, ekstrüzyon, kaynak, lehim, yapıştırma ve perçinleme olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel-kimyasal yöntemler ise tel erezyon, elektroerezyon, kimyasal, elektro-kimyasal, lazer, su jeti ve plazma ile işleme gibi işlemleri kapsamaktadır. Daha önce de açıklandığı gibi bir mamul birden fazla prosedürün kullanılmasıyla üretilebilir.

1.1.1.2. Frezeleme

Frezeleme, takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve iş parçasının ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Frezeleme, takım çevresinde bulunan dişlerin yardımıyla gerçekleşir. Bu yönden frezeleme, işleme yöntemi bakımından çevresel ve alın olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Çevresel frezelemede talaş, takımın çevresinde bulunan dişler ve alın frezelemede takımın alın yüzeyinde bulunan dişler tarafından kaldırılır [94]. Kesme hareketini gerçekleştirmek için takım iş ve ilerleme hareketini yapmak için iş parçası tezgâh tablasına tutturulur. Bununla birlikte çevresel ve alın frezeleme ile düz ve kademeli düz yüzeyler, parmak freze ile kama kanalları, disk freze ile düz kanallar, V biçimde kanallar, yuvarlak kanallar ve T kanalları işlenebilir. Bu nedenle frezeleme çok üretken yani birim zamanda büyük talaş hacmi kaldıran bir işlemdir. Ayrıca bu sayede frezeleme esasına dayanan vida açma ve dişli çarklarda diş açma gibi işlemleri yapılır. Vida açmada takım dönme hareketi ve parça, dönme ve ilerleme hareketi yapar. Diş açma, azdırma ve modül freze takımı ile gerçekleştirilir. Azdırma denilen freze tezgâhında sonsuz vidaya benzeyen bir takımla düz ve helisel dişler açılabilir. Her iki durumda takım hem dönme, hem de ilerleme ve parça dönme hareketi yapar. Normal freze tezgahlarında yapılan modül freze ile diş açmada, dişleri

iki diş arasında boşluğa göre şekillendirilmiş bir takım kullanılır. Azdırma tezgâhlarında aynı hareketlerle kamalı millerin dişleri de açılır.

1.1.2. İşlenebilirlik, İşlenebilirliğin Tanımı ve nemi

Talaşlı imalatla esaslı olarak ortaya çıkan sorunlardan bir tanesi işlenebilirlik olgusudur [60]. Tüm retim yapan birimler üretmekte oldukları ürünleri nasıl daha hesaplı ve daha kısa zaman içerisinde kaliteli üretebilirim sorununa çözüm araştırmaktadır. İşlenebilirlik eksiksiz şekilde tarif edilememekle birlikte değişik tarifleri mevcuttur [74].

Kullanılan kesici takımın geometrik formu ve niteliğinin farklılığı, kullanılan takım tezgâhı ve işleme yöntemlerinin eşitliliği, CNC takım tezgâhlarının ve CAM yazılımlarının sağladığı birbirinden farklı talaş ayırma işlemlerinde kullanılan takım yolu geometrik yapısı, kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği gibi kesme şartları etkilemektedir. Çalışmalarda bütün kesme düzeylerinde malzemeye giriş hareket ve hızların operatör kontrolünde olması, kullanılan soğutma tipleri gibi daha birçok parametrenin var olması sonucunda işlenebilirlik açıklanması oldukça karmaşık bir tanımdır [75].

Genel itibariyle işlenebilirlik aşağıdaki hususlar dikkate alınarak açıklanabilir:

- Kesme anında oluşan yükler,
- Talaş oluşumunun meydana gelmesi,
- Yüzey pürüzlülük değeri,
- Takım aşınması, atlması, kırılması,
- Kaldırılan paso oranıdır.

Talaş kaldırma prosedürü sırasında meydana gelen talaşlar atık malzemeler olarak tanımlanabilir ve talaşlı üretimde sarf edilen enerjinin oldukça büyük bir bölümü talaşın oluşması esnasında tüketilmektedir. Talaşlı retim metotlarında, şekillendirilecek malzeme ile eşleşebilecek kesme takımı belirlenmesi ve kesme parametreleri (kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı) ortaya çıkan talaş şekli ve niceliğine etki etmektedir. Oluşan talaşların şeklinin iş parçasının son yüzey yapısı ve talaşlı imalat yöntemi (takım ömrü, titreşim) zerinde farklı sonuçları vardır. Talaşlı retim metodunda talaşlar çok farklı yapıda oluşmasına karşın temel itibariyle aşağıdaki gibi belirtilebilir:

1. Sürekli talaş,
2. Süreksiz talaş,
3. Dilimli talaş,
4. Yığıntı talaş.

Sürekli talaş yapısı, yüksek kesme hızları ve/veya talaş açılarında yumuşak malzemelerin işlenmesi esnasında oluşmaktadır. Talaş oluşum anında malzemede görülen bozulma dar bir kayma alanında oluşur ve buna birinci deformasyon bölgesi denir. Sürtünmeden kaynaklı sürekli talaş ile takım talaş arakesitinde oluşan ikinci deformasyon bölgesi ortaya çıkar. Takım ile talaş arasında sürtünme fazlalaştıkça ikinci deformasyon bölgesinin genişliği artar. Sürekli talaş yapısında birinci deformasyon bölgesinin genişliği artma eylemi gösterebilir. Genellikle yumuşak malzemelerin düşük kesme hızlarında ve düşük talaş açıları ile şekillendirilmesi neticesinde görülür. Bu olay yüzey pürüzlülük değerini artırır ve yerleşik yüzey streslerine sebebiyet verir. Kaliteli bir son yüzey oluşturmaya rağmen her koşulda istenmez. Sürekli talaşın kesme alanından gönderilmesi nedeniyle süreç bekletmeye alınmalıdır. Bu olay üretim süresini ve maliyeti direkt olarak etkiler [51].

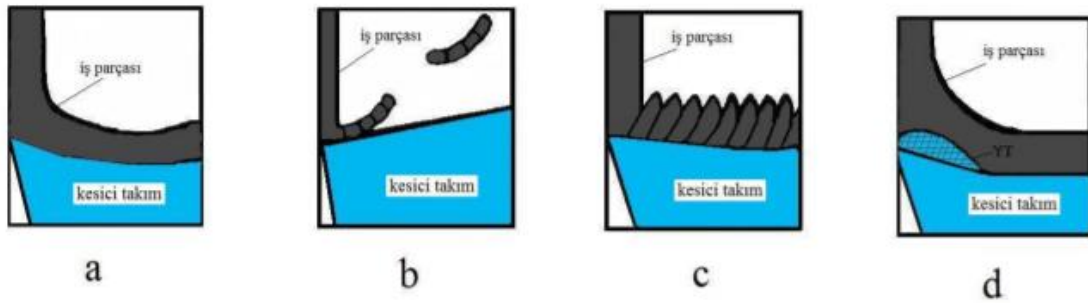
Süreksiz talaş yapısı, talaşlı üretim anında talaş şeklinden ötürü sürekli olarak ortaya çıkan kuvvetlerde sapmalar olur. Takım tutucunun, tutturma öğelerinin ve takım tezgâhının rijitliği dilimli ve süreksiz talaş gözlenen kesme yöntemlerinde kayda değerdir. Kararınca rijitlik yoksa takım tezgâhı titreşimle karşılaşır ve bu durum malzemenin yüzeyini ve ölçülerinin amaçlanan değerden farklı olmasına sebep olur. Bunların dışında, takım aşınmasını arttırarak, verimsizliği ortaya çıkarır.

1. Gevrek yapıları iş parçası malzemeler,
2. Bünyesinde grafit lameller bulunan dökme demir gibi malzemelerin işlenmesi,
3. Çok düşük veya çok yüksek kesme hızlarıyla işlem yapılması,
4. Yüksek oranda talaş derinliği verilmesi,
5. Düşük talaş açısı kullanımı,
6. Aktif bir soğutma sıvısının uygulanmaması,
7. Takım tezgâhının rijit yapısının elverişsiz olması, süreksiz talaş oluşumunda oldukça önemlidir [51].

Dilimli talaş yapısı, düşük ve yüksek kayma deformasyonu ile karşılaşmış alanlar. Termal iletkenliği düşük ve dayanım gücü sıcaklığın yükselmesi sonucunda süratlı şekilde azalan metallerde bu olay yaşanmaktadır, örnek olarak titanyum verilebilir. Fazla oranda kayma biçim varyasyonu ve düşük kayma biçim varyasyonunun art arda görüldüğü çevrimsel talaş yapısıdır. Bu talaşlar testere dişi biçiminde bir görünüm oluşturur.

Yığıntı talaş (YT) yapısı, talaş kaldırma metodu esnasında işlenen malzemenin parçacıkları kesici uç yüzeyinde tabakalar şeklinde dizili bir yapıda birikmesi ile ortaya çıkar, yöntem anında takım uç geometrik formu ile alakalı olarak kesici takım uç bölgesinde meydana gelebilir.

Belirtilen talaş biçimleri Şekil 1.1 'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 - a) Sürekli talaş b) Süreksiz Talaş c) Dilimli talaş d) Yığıntı Talaş

1.2. Kesici Takımlar

Birbirinden farklı makine ve makine parçalarının üretimini karşılamak için kullanılan kesici takımların, talaş kaldırma anında meydana gelen yüksek kuvvetleri karşılaması önemlidir. Talaşlı imalat sürecince ortaya çıkan güç ve sıcaklık, takımlar için zor koşulları ortaya koymaktadır.

Talaşlı imalat takımları bünyesinde özel bir yere sahip olan takma kesici uçları günümüzde sayısal olarak en fazla oranda üretimi olan malzemelerdir. Sanayide değişik uygulamalar için farklı kesici takım malzemelerinden faydalanılmıştır. Havacılık ve nükleer programlar yardımıyla 20. yüzyılda birçok teknolojik gelişmeler olmuş ve bu programlarda kullanılan malzemelerin çeşitliliğini sağlamak için değişik kesme malzemeleri geliştirilmiştir.

Kesici takımlar, niteliği yüksek ve maliyeti düşük parçalar imal etmek için çeşitli mekanik özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Çatlama kırılması, sürünme ve aşınma sonucu takımlar ilerleyen sürelerde hasarlı konuma gelebilirler. Bu gibi problemlerin oluşmaması için kesici takım malzemesinin genel olarak aşağıda ifade edilen hususlara gereksinimi vardır.

- Sertlik ve basınç mukavemeti,
- Kenar mukavemeti,
- Eğilme mukavemeti,
- Oksitlenmeye karşı hassasiyet,
- Sürtünmeye karşı dirençli olması,
- Difüzyon yayılma meylinin az olması [22, 56, 57].

1.2.1. Freze Kesici Uçları

Kesici takımlar için kullanılan malzemeler; yüksek hız çelikleri, karbürler, seramik veya oksitler, kübik bor nitrür ve elmas takımlar olarak adlandırılabilir. Genel amaçlı olarak kullanılan freze kesici malzemeleri çoğunlukla, yüksek hız çelikleri, kobaltlı yüksek hız çelikleri ve karbürlerdir. Talaşlı imalatla takım maliyeti göz önüne alındığında verimlilik ve yüzey kalitesi bakımından karbür uçları diğer kesici uç seçeneklerine nazaran sanayide daha çok tercih sebebi olmuştur [23, 24]. Kesici takımlardan istenen mekanik olmayan özellikler;

- Uzun takım ömrüne sahip olması,
- Talep edilen işleme kalitesini ve toleransını sağlaması,
- Parça başına düşen takım maliyetinin makul olması,
- Kolay ulaşılabilir olmasıdır [25].

Yüksek Hız Çelikleri (Seri çelik, HSS); Takım çelikleri arasında en yüksek alaşım oranına sahip olup, sertliğini, mukavemetini ve kesme kenar şeklini işlem esnasında muhafaza edebilir. Makul seçilen yöntem ve tertibatla, az kusur veya çatlama riski ile bütünü sertleştirilebilirler. HSS takımlar farklı yapılara sahip olup, delme, raybalama, frezeleme, broşlama ve diş açma metodlarında oldukça geniş bir şekilde tercih edilmektedir. Yüksek alaşımlı asal çelikler olup, 600° C sıcaklığa kadar sertliklerini koruyabilirler [5]. Üretimde, 30 -50 m/dak kesme hızlarında kullanıma uygun kesici

uçlardır [26]. Yüksek hız takım çelikleri T ve M olmak üzere iki kategoriden oluşmaktadır. İlk alaşım elementi olan tungsten ve molibdenin yüzdelik oranına göre belirlenir. T serisi, tungsten ve farklı alaşım elementi olarak vanadyum ve kromla birlikte kobalttan meydana gelirken, M serisi, molibden elementi ile başka alaşım elementlerinden olan kobalt, krom ve vanadyum bulunmaktadır. Genel itibariyle, M serisi, T serisinden daha yüksek çizilme aşınma dayanımı sağlamakla birlikte maliyeti ucuz ve tavlama esnasında daha az hasar oluşturmaktadır [4].

Alaşımlar; karbon, demir elementiyle bileşerek bir karbür meydana getirir ve bu yapı sertleşme eğilimini ortaya koyar. Neticede sertleşmiş, dayanımlı ve aşınma direncinde yükselme oluşmaktadır. Aşınma direnci ve malzeme tokluğu, ilave edilen krom elementi oranı ile belirlenebilir; muhteviyat yüzdesi 0,25 ila 4,5 arasında değişmektedir. Eklenecek kobalt elementi sayesinde yüksek hız çeliklerinin sıcak sertlik direnci artırılabilir [28]. Bu yapılan uygulamalarla kesiciler yüksek kesme hızlarında sertlik ve kesici kesme kenar yapısını işlem esnasında muhafaza edebilir; içerik oranı yüzde 5 ila 12 arasında eklenebilir. Molibden etkili karbür yapıcı element olup mukavemet, aşınma direnci ve sıcak sertliği iyileştirmektedir. Çoğu zaman diğer bileşik yapıcı elementlerle birlikte yüzde 10 'a kadar katarak kullanılır. Bir alaşım elementi olan Tungsten, yüzde 1.25 ila 20 arasında eklenerek sıcak sertlik ve mukavemeti artışında katkıda bulunur. Yüzde 1 ila 5 arasında ilave edilecek olan Vanadyum, yüksek hız çeliklerinde sıcak sertliğin ve aşınma direncinin artmasını destekler [29,30].

Sert Maden Uçlu Kesiciler (Karbürler); Sıcaklığa oldukça dayanıklı malzeme olup sert karbür zerrecikleri ve yapısı sünek olan metaller ile bileşik yapılarak imal edilir. Toz metalürjisi yöntemi ile ince tungsten karbür tozlarla yeterli oranda demir, nikel veya kobalt tozları eklenerek sıkıştırılır. Sıkıştırılan bileşik ortalama 1300 °C 'de sinterlenir. WC + Co esaslı karbür takım malzemeler, çeşitli yapıda iş parçası ve değişik işleme usulleri için farklı karbürler geliştirilmiştir [11]. Bu tip malzemeler 'sinterlenmiş karbür' olarak da bilinir. Oldukça güçlü aşınma direnci sergilemelerinden ötürü 40 m/dak 'dan 350 m/dak kadar kesme hızlarında sertliğini ve kesici özelliğini koruyarak kullanılabilir. Sinterlenmiş karbürlerin iki tipi geniş çapta tercih edilmektedir.

1. Tungsten karbür + kobalt alaşımlı düz karbür uçlar (WC+Co),

2. Tungsten karbür + kobalt + titanyum karbür + tantalyum karbürürlü uçlar (WC+Co+TiC+TaC).

Karbür takımları güçlü malzeme yapan karakteristikler; büyük bir sıcaklık aralığında sertliklerini korumaları, yüksek elastisite modülü yaklaşık çeliğin 2 ila 3 katı, fazla gerilmelerde plastik akışın oluşmaması, düşük ısı genleşme ve yüksek termal iletkenliktir [11-17].

Malzemelere uygulanan kaplama işlemi; Özellikle metal sektörünün son derece önemli bir faktörüdür. Kaplama sonrası elde edilen malzemelerin oldukça yüksek mukavemet ve direnç elde edilmesiyle, yapılan kaplamanın temel odağının neyi hedeflediğini göstermektedir. Kaplamanın yapılmasının başlıca nedenleri:

- Malzemenin niteliğini ve uygulama ömrünü arttırmak,
- Çalışma alanında varolan korozyon maddelerinin olumsuz tesirlerini azaltmak,
- Mekanik kabiliyetleri yükseltmek (mukavemet, sertlik, aşınma direnci).

Yüzey kaplama işleminde farklı metotlar bulunmaktadır. Bunlardan fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD), kesici takımları kaplamak için oldukça fazla tercih edilen ve verimliliğin oluşmasına neden olan metotlardır [56, 57]

1.2.2. Kaplamalı Kesici Takımlar

Talaşlı imalat, iş parçası malzemesini kesmek, belirli bir şekil ve yüzey özelliklerine sahip parçalar üretmek için özel olarak tasarlanmış aletler kullanarak malzemelerin çıkarılması yoluyla ürünlerin üretilmesidir [1-7]. Bu üretim görevini tamamlamak için, kesici takım iş parçası malzemesini kesebilir ve gerekli geometri, yüzey bitirme işlemleri ve toleransları olan ürünleri tutarlı ve düşük maliyetli bir şekilde üretebilir [4]. Kaplamalı kesici takımlar ile işleme, çevresel gerekliliklere ve parça başına üretim hedeflerini karşılamak için rekabetçi baskıya bağlı olarak, yeniliklere genellikle daha zor kesim ve iş parçası materyali üretme ihtiyacına bağlı olarak sürekli gelişmektedir. Kesici takımların gelişimi, kaplamalı karbür takımların piyasaya sürülmesi ve bu yöndeki ilk çalışmalar, kimyasal buhar fazı biriktirme (CVD) ile uygulanan ince bir TiC filmi ile sağlanan sıradan çelik kesme uygulaması için karbür takımları içeriyordu [3].

Karbür alanındaki en son gelişmelerden biri, kesici takımların yüzeye yakın alanlarında işlevsel gradyan karbürlerle yol açan işlevsel bir eğimdir. Böyle bir fonksiyonel gradyan, yüksek sıcaklıklarda kesici takım ve iş parçası etkileşimine karşı koyan ve karbürün

mikro yapısını sorunsuz bir şekilde elde eden oldukça dirençli bir yüzey bölgesi sağlamak için özel olarak değişen fazlar ve / veya eleman bileşimi dağılımıdır [22].

Kaplanmış karbür kesici uçlar, yüksek yüzey sertliği, düşük sürtünme faktörü, düşük ısı iletkenlik ve kararlı kimyasal özellikler gibi olağanüstü fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Ek olarak, seramik ve CBN takımlarıyla karşılaştırıldığında, kaplanmış karbür kesiciler daha ekonomik uygulanabilirliğe sahiptir ve sert işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok bilim adamı, sert işleme sırasında kaplanmış karbür kesicilerin kesme performansını araştırmak için önemli çalışmalar yapmışlardır.

Çok ince kaplamanın etkisi, kaplamanın kalınlığına karşılık gelen bir krater derinliğine ulaşıldıktan çok sonra var olur. CVD, ince bir film oluşturmak için ısıtılmış bir substrat üzerinde veya yakınında meydana gelen kimyasal reaksiyonla bir buhardan katı materyalin uygulanmasını içerir. Bu tür kaplamalar, planya olmayan karmaşık şekillere sahip yüzeylere uygulanabilir. CVD, yalnızca gerekli alt tabaka sıcaklığı kabul edilebilir olduğunda geçerlidir [7,9]. Bir alternatif, reaktif gazda, daha düşük bir yüzey sıcaklığı gerektiren serbest radikaller üreten bir elektriksel boşalma üretmektir. Buna plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) denir [10].

PVD, buharlaştırma, püskürtme veya iyon kaplama ile gerçekleştirilir. Buharlaştırma bir vakum olayı ile gerçekleşir. Isıtılmış bir kaynaktan gelen atomlar veya moleküller buharlaşır ve vakum haznesindeki artık moleküllerle çarpışmadan bir alt tabakaya ulaşır [96]. Bu tür bir çarpışmadan kaçınmak ve artık moleküllerin substratı kirletmesini önlemek için yüksek bir vakum gereklidir. Buharlaşmalı biriktirme, PVD süreçlerinin enerji açısından en verimli olanıdır ve genellikle PVD tercih edilen işlemdir. CVD ve PVD kaplamaların kombinasyonları da kullanılmaktadır. Gelişmiş kaplama yapışması için CVD ve daha yüksek kesme hızları ve daha düşük kesme kuvvetleri sağlamak için PVD kimyasal buhar biriktirme işlemi yapılır [10].

Günümüzde karbür kesici takımların çoğu CVD veya PVD sert kaplamalarla kaplanmaktadır. PVD-TiSiN kaplamalı karbür takımlar, yüksek sertlikleri, aşınma direnci ve kimyasal stabiliteleri nedeniyle talaşlı imalat işleminde sıklıkla kullanılırlar, takım ömrü ve işleme performansı açısından fayda sağlarlar [5–8,10].

Kaplamalı kesici takımlara neden ihtiyaç duyulur ?

Takım kaplamasının yapısı hem aşınma direncini hem de temas bölgelerindeki tribolojik şartları belirlediğinden, kaplama yapısını belirli bir işleme görevinin taleplerine uyarlamak önemlidir [18].

Temel kaplama özelliklerinin kombinasyonu, bir aletin belirli bir teknolojik uygulama için uygunluğunu kesin olarak etkiler. Performansını seçilen teknoloji, çalışma malzemesi veya işlemde kaynaklanan taleplere uyarlamak amacıyla bir kaplama seçilmeli veya tasarlanmalıdır. Kesme işleminde meydana gelen baskın aşınma mekanizmaları belirlenmeli ve malzeme, yapı, kaplama işlemi ve alt tabaka ön işlemi gibi tüm kaplama parametreleri sistematik olarak buna uyarlanmalıdır [11-12].

Kaplama özelliklerinin geliştirilmiş ürün kalitesi;

- Yeni iş parçası malzemeleri
- Gelişmiş işleme doğruluğu ve verimliliği
- Daha iyi toleranslar ve ürün performansı
- Geliştirilmiş yüzey kalitesidir.

Kaplama tekniklerinin üretkenliğin artması üzerindeki etkisi;

- Daha kısa teslim sürelerinde daha yüksek çıktı
- Daha fazla takım tezgâhı kullanımı
- Maliyet tasarrufu için metal kesme sıvılarına olan ihtiyacı ortadan kaldırılmasıdır [13].

Takımların maliyeti; toplam üretim maliyetinin % 2 ile % 5'idir. Bununla birlikte, makine boştaki kalma süresini azaltarak ve diğer uygun maliyetli üretim tekniklerini etkinleştirerek üretkenliği artırma kapasitesidir. Kesme hızının makine maliyetine etkisi, sabit üretim maliyetleri, iş parçası malzemesinin maliyeti, makine ayarı ve boştaki kalma sürelerinin yanı sıra soğutma maddesi atma maliyeti, genel gider ve kesme hızından bağımsız diğer maliyetlerin toplamıdır [13,14].

Makine, aşınmış, yıpranmış kesici takımını değiştirmek için durdurulduğunda ve değiştirilmesi gereken kesici takım maliyetini, uygulanabilir olduğunda aracın yenilenme maliyetini ve en önemlisi zaman kaybını ve üretilen işin verimliliği içerir. Gerçek işleme maliyeti, sabit ve hıza bağımlı miktarların toplamıdır ve dolayısıyla,

işlemede azalan maliyet ile takımın yükselen maliyeti arasındaki oran tarafından belirlenir. İki eğrinin kesişim noktasındaki kesme hızı, toplam maliyet eğrisinin minimumda olduğu belirli üretim döngüsü için parçanın optimum parça kesim hızıdır [15].

Kesici takımlardaki kaplama uygulamaları, aşınma direncini artırarak kesici takımın ömrünü, performansını ve kalitesini artırır [9,16]. Metal işleme endüstrisi sürekli olarak daha etkili işleme süreçleri gerektirdiği için, kaplanmış takımların pazar payı sürekli olarak artmaktadır[20]. Geometrik olarak tanımlanmış bir kesici kenarı olan işlemler için, daha yüksek kesme hızları, yüksek imalat oranları, mümkün olan her yerde kuru kesim ve yüksek işlem güvenilirliği anlamına gelir. Ayrıca, büyük tasarım potansiyeline sahip yeni malzemeler genellikle işleme problemlerine neden olur. Bu, mekanik, termal ve kimyasal direnç ile ilgili kesicilerin artan talepleri anlamına gelir. Kaplama teknolojisinin ilerlemesi, özellikle yeni geliştirilmiş ve aynı zamanda karmaşık kaplamaların pazar payının önümüzdeki yıllarda güçlü bir şekilde artacağı gerçeğine yol açmaktadır. İnce bir kaplama kalınlığı, güçlü negatif yüzey açılarına yol açar. [19,20,21]. Farklı kaplama tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, kesici takımların yüzeyinde iyi aşınma direncine sahip bir sert film tabakasının biriktirilmesi, kesici takımların kesme performansını iyileştirmenin bir başka etkili yolu haline gelmiştir.

Günümüzde, koruyucu kaplamaların kesici takımlar üzerinde biriktirilmesi için iki ana kaplama tekniği kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirmedir (PVD). CVD ile karşılaştırıldığında, PVD daha düşük bir sıcaklık gerektirir (80°C kadar düşük). Ayrıca, hiçbir kirletici madde yayılmaz, bu da PVD'yi nispeten çevre dostu bir teknik yapar. PVD ile üretilen kaplamalar ayrıca başka avantajlar da sunar, örneğin yüksek sertlik, düşük aşınma katsayısı, iyi aşınma direnci ve yüksek kimyasal stabilite [62-63]. PVD ile üretilen Ti-N, Cr-N esaslı sert kaplamaların uygulanması, yüksek sertlikleri ve iyi dirençleri vb. nedeniyle kesici takımların kesme performansını artırabilir. Şu anda, birçok çalışma, PVD yoluyla sinterlenmiş karbürler üzerine Ti-N / Cr-N bazlı kaplamalar uygulayarak kesme performansını iyileştirmeye odaklanmaktadır [33,58].

Tablo 1- Bazı kaplama türlerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kaplama Türü	Kaplama Kalınlığı (µm)	Micro Sertlik (HV 0.05)	Sürtünme Katsayısı	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Kaplama Rengi
TiN	2 - 4	2800	0.55	450	Altın Sarısı
TiSiN	2 - 5	3200-3600	0.42	900	Siyah, Füme
TiCN	2 - 4	2800	0.15-0.30	300	Mavi, Gri
CrN	4 - 6	2300	0.55	700	Gümüş grisi
DLC	1 - 3	2000-2800	0.1	300	Siyah

1.2.2.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

CVD metodunda gaz haline getirilmiş kimyasalın, katı halde tepkime ürünü olarak çöktürülmesi işlemidir [18,73]. Sert madde kaplamalarında kullanılan katman malzemeleri; çelikler, sert metaller, seramik malzemeler ve demir olmayan metallerdir. Çöktürülen tabakanın kalınlığı çoğunlukla 10 µm – 30 µm arasında değişmektedir. Kaplamada oluşan sıcaklık, uygulanan kaplamanın cinsiyle ilişkili olarak 900°C – 1100°C arasında olmaktadır. Metot zamanı gerçekleştirilen katman kalınlığıyla ilgili olarak, 2 saat ile 4 saat arasında sürebilir [18, 57].

TiC, TiN, Al₂O₃ veya çoklu kaplamalar, genellikle CVD işlemi ile karbür takım uçları üzerine aktarılır. Belirlenen kaplamayı biriktirmek için esas olan kimyasal tepkime, alt katmana bitişik bir konumda yapılır. Kaplama, atomlar aracılığıyla yüzeyde bir araya getirilir ve bu şekilde kaplama ile alt katman arasında oldukça etkili bir yapışma bölgesi oluşur [56, 57]. İnce film tabakası elde edilmesi bakımından CVD, PVD yönteminden daha karmaşık bir işlemdir. CVD metodunda, ince tane yapıları kaplamaların oldukça yüksek biriktirme hızlarında uygulanmasına olanak sağlar [18, 20].

CVD yöntemi kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla düşük gerilmeli kaplamalar üretmek için iyi bir yöntemdir. Bu yöntemde kaplama malzemesi, kaplanacak bölgeye buhar şeklinde gönderilir. Buhar malzeme yüzeyinde parçalanır veya diğer öncü maddelerle reaksiyona girer. Süreç devam ettikçe kaplama bölgesi kaplama noktasına ulaşan öncü maddelerle beslenir. CVD yöntemi, vakum ya da atmosfer basıncı altında gerçekleştirilebilir. CVD, farklı gazların kimyasal reaksiyonu yardımıyla

gerçekleştirilir. Örneğin, titanyum karbürün kaplanması işleminde çalışılan gazlar; hidrojen, titanyum klorür ve metandır. Bu işlem, kullanılan gazlarla ilgili çeşitli ayarların kolaylıkla yapıldığı bir işlem olması nedeniyle, tek veya çok katlı kaplamalar için başarıyla kullanılabilir [34-35].

CVD işleminde, 5 - 12 µm veya özel durumlarda 20 µm'ye kadar kalınlıklarda kaplama katı elde etmek mümkündür. Bu yöntemde kullanılan başlıca malzemeler TiC, TiCN, TiN veya alüminyum oksit (Al₂O₃)'tir. Çalışma sıcaklığı 700 °C–1050 °C arasında alınır. Bu yöntem, aynı zamanda hemen hemen tüm kesici uç ana malzemeleri kaplamak için yaygın olarak kullanılabilen, otomotize edilmiş bir yöntemdir. Yöntemin avantajı, kaplama tabakasının düzgün ve homojen olması, kaplama tabakasının ana malzemeye mükemmel bağlanabilmesi ve aynı zamanda karmaşık geometrili parçalarında sorunsuz kaplanabilmesidir.

1.2.2.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi; kısmen iyonize metal buharı ile bir gazın tepkimeye girerek, malzeme yüzeyinde belirli bir bileşimde ince bir film oluşturularak metal bazlı sert kaplamalar üretmek için kullanılan bir yöntemdir. En çok tercih edilen yöntemler, iyon püskürtme ve katodik ark yöntemleridir. İyon püskürtme yönteminde buhar, gaz halindeki enerji yüklü iyonların metal hedefe doğru bombardımanı ile oluşturulur. Katodik ark yönteminde ise, kaplama metal hedefe doğru tekrarlanan ark boşalmaları ve malzemenin buharlaşmasıyla sağlanır. Bütün PVD işlemleri yüksek vakum koşulları altında gerçekleştirilmektedir. PVD kaplama yöntemi ile geniş bir ürün yelpazesi; nitrürler, karbürler ve Ti, Cr, Zr ve alaşımlarının karbonitrürleri, örneğin AlCr, AlTi, TiSi şeklinde malzeme yüzeyine kaplanabilir. Uygulamalar; kesme ve şekillendirme takımları, mekanik araç-gereçler, tıbbi cihazlar, sert ve dekoratif özelliklerin istendiği alanlarda önem taşır. Bu yöntem genellikle yaygın olarak hız çeliklerinin kaplanması tercih edilir. İşlem sıcaklıkları CVD işleminde kullanılan sıcaklıkların hemen hemen yarısı kadar ve 500 °C'den daha azdır. PVD kaplama için tipik işlem sıcaklığı 250 °C ve 450 °C arasında bulunur [37-40].

PVD kaplamalarda, kaplanan malzemenin sıcaklığı bazen 70 °C'yi aşabilir. Bazen de bu sıcaklık kısa süreli 600°C'nin üzerine çıkabilir. PVD kaplama filminin kalınlığı, çoğu kez CVD tabakasından daha incedir.

PVD yönteminde kaplamalar, tek veya çok katmanlı olarak birikebilir. Son nesil kaplamalar, çok katmanlı nano yapılandırılmış özellikte üretilmektedir. Kaplama yapısı istenilen bileşim ve özellikte; sert, iyi bağlanmış ve aşınma direnci yüksek olarak elde edilir. Bu yöntemle kaplama kalınlıkları 2-5 µm aralığında veya isteğe bağlı olarak yüz nanometreye kadar ince ya da 15 µm ve daha fazla kalınlıkta olabilmektedir. PVD ile kaplanan malzemeler arasında; çelikler, demir dışı metaller, tungsten karbürler bulunmaktadır. PVD kaplama için alt tabaka malzemesinin uygunluğu elektrik iletkenliği ve kaplama yapılacak sıcaklıktaki malzemenin kararlılığı ile sınırlıdır.

Krom nitrür (CrN): Gümüş renkli CrN, yüksek termal stabilite sunar ve bu da alüminyum döküm ve derin çekme uygulamalarında yardımcı olur. Ayrıca, genellikle Ti bazlı kaplamalarla titanyum alaşımlarının işlenmesiyle ilişkili kenar oluşumunu da azaltabilir. [40,69]

Çok katmanlı CrN-CrC: Gümüş renkli, kaplama iyi sertliğe ve çatlama ve ufalanmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Al ve Ti alaşımlarının işlenmesi için uygundur [41-42].

Çok katmanlı TiN-TiCN: Bronz / gri veya mavi / gri renkli kaplama, yüksek karbonlu çeliklerin, takım çeliklerinin ve yüksek silikonlu alüminyum alaşımlarının işlenmesi gibi zorlu işleme uygulamaları için önerilir.

Zirkonyum nitrür (ZrN): Açık altın renkli, bu genel amaçlı kaplama, Al ve Ti alaşımları olarak dökme demirlerin ve demir içermeyen malzemelerin işlenmesi için önerilir.

TiN-TiCN-TiC-Al₂O₃: Siyah renkli bu kaplama yüksek ısı ve oksidasyon direncine sahiptir [47].

TiN-TiCN-TiC-Al₂O₃-TiN: Altın renkli kaplama, frezeleme ve tornalama kaba işleme uygulamaları için uygundur.

TiN-TiCN-Al₂O₃-TiN: Altın renkli kaplama, frezeleme ve tornalamada aşınma direnci ile karakterizedir [22]. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan yeni nesil kaplamalar, krom nitrür (CrN) ve titanyum karbonitrür (TiCN) ile oluşturulur.

TiN baz bileşimine alüminyum ekleyerek TiAlN'nin evrimi, yalnızca daha yüksek bir sertlik sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yüksek sıcaklık dayanımı ve eylemsizliğinde dikkate değer bir gelişme sağlamıştır. Her iki özellik, sertlik ısı ve

yaklaşık 900 °C 'ye kadar oksidasyon direnci, dönme noktasındaki kesme koşullarının iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur [70].

TiAlN kaplamaların bir sonraki evrimi, yüksek Al içeriği nedeniyle genellikle AlTiN kaplamalar olarak bilinir ve bu daha iyi bir termal direnç anlamına gelir. AlCrN kaplamanın sertliği TiAlN ile benzerdir, ancak bu kaplamayı olağanüstü kılan, yüksek Cr içeriği nedeniyle yüksek yapışma özelliğinin yanı sıra 1200 °C 'ye kadar yüksek oksidasyon direncidir. AlCrSiN bazlı kaplama, kaplamanın hem yüksek sıcaklık direnci hem de oksidasyon direncinin gerekli olduğu azdırma, delme ve frezelemede başarıyla uygulanmıştır [43-48].

Yüksek sertlik ve tokluğun iyi bir kombinasyonu ile kaplanmış takımların geliştirilmiş aşınma direnci, yeni kaplama malzemelerinin ve kaplama tasarım konseptlerinin sürekli geliştirilmesini gerektiren endüstriyel zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Sertleştirilmiş çelik işleme için, çeşitli alaşım elementleri ilaveli çok bileşenli TiSiN bazlı nanokompozit kaplamaların araştırılması ve uygulanmasına temel ilgi gösterilmiştir. [48-50,59].

PVD metodu, vakum koşullarında bulunan malzemenin buharlaştırılarak atomların yüzeyden ayrılması ve kaplanacak olan alt katman yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi temelinde olmaktadır. PVD metotları;

- Manyetik Sıçratma Katot Ark PVD,
- Termal Buharlaştırma,
- İyon Kaplamadır [31].

PVD kaplamanın özellikleri şu şekildedir:

- Isıl işlem uyulanmış takım çeliklerinin 180 °C – 600 °C arasında kaplanabilmesi ve malzemede sertlik düşüşünün oluşmaması,
- Kaplanan tabakalarda büyük yapışma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi,
- Sıkı kristal tabaka bünyesinin olması,
- Kaplama kalınlığının çok ince (1 µm-5 µm) yapılması ve parça boyut hassasiyetini koruması,

- Karışık geometrik parçaların döner düzeneklerde homojen yapıda kaplanabilmesi,
- Köşelerin ve keskin uçların sivrililiğini kaybetmeden kaplanabilmesi,
- Takımların bileme işleminden sonra yeniden kaplanabilmesi,
- İstenildiğinde kaplamayı yüzeyden ayırarak bir daha kaplama yapılabilmesi,
- Çalışma halindeki yüzeylerde oluşabilecek malzeme sıvanmasının engellenmesidir [32, 33].

1.3. Kesici Takımlarda Aşınma

Talaşlı üretim esnasında kullanılan kesici takımlar ile, işlenen malzeme arasında ortaya çıkan ısı ve kesme kuvvetleri takımda çeşitli aşınma yüzeyleri oluşturur. Karşılıklı olarak temasta olan teknik malzemelerin, üretim sırasında sürtünmenin oluşması kaçınılmaz olduğundan oluşan aşınma, birçok makine ve ekipmanın uygulama boyunca önemli oranda ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma olayı, belirli bir yüzeyden başka bir yüzeye malzeme iletimi ya da aşınma yüzeylerinin oluşumu sonucunda gerçekleşen malzeme kayıplarıdır [97]. Şekillendirme yöntemleri süresince bütün kesici takımlar aşınır ve oluşan aşınma takımlar kullanım sürelerini bitirinceye dek sürdürürler. Kesme işlemlerinde hangi yöntem olursa olsun takım aşınması gerçekleşir. Talaş ayırma sırasında kesici takımların farklı kısımları, çeşitli aşınma şekilleriyle karşılaşır ve neticede takımın ömür süresi düşer, keskinliğini yitirir ve uç bölümü kırılır. Aşınmanın oluşması, kesici takım yüzeyinde şekilsel farklılıklara neden olmasından dolayı, takım aşınması oluşacak yüzeyin niteliği için önemli bir faktördür. Takım aşınmasına etki eden değişkenlerin neler olduğu ve hangi şartlarla ilişkili olduğunun bilinmesi oldukça önemlidir. Takım verimliliği temel açıdan iş parçası malzemesi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği), takım malzemesi içeriği, takım geometrik yapısı ve takım kaplaması gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Fazla oranda oluşan takım aşınması, arzu edilmeyen yüzey ve kullanılan enerji miktarında artışı beraberinde getirir.

1.3.1. Aşınma Mekanizması

Talaşlı üretimde, abrazyon aşınması, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması ve yorulma aşınması esas fiziki aşınma şekilleridir. Abrazyon aşınmasında işlenen

malzemede ki sert yapı lı parçacıkların takım katmanından malzemeyi kazımak maksadıyla aşınma oluşturur. Bu tip aşınma, sık ortaya çıkan ve yüzeyde malzeme zayıtatının çok olduğu bir mekanizmadır. Difüzyon aşınmasında, takım ile işlenen malzeme ikilisinin kimyasal açıdan duyarlı olmasından dolayı tepkimeler gerçekleşir ve malzemede eksilme gerçekleşir. Adhezyon aşınması, kesici takım ile işlenen malzeme aralarında ısının artmasıyla yapışma etkisi sonucu bir metalin diğerinden parçacık ayırmasıyla görülen malzeme kaybıdır ve yöntemde ortaya çıkan düşük sıcaklık sonrası aşınma ile karşılaşılır. Yorulma aşınması, vibrasyon veya kararlı olmayan yükler sonucu malzemede yorulma ayrılması şeklinde belirir. Yaygın olarak çevrimsel yüklemelerle yüzeyden ya da yüze ye bitişik noktalarda içyapıda yıpranmalar meydana gelmesi dolayısıyla yüzeyden czi ayrışmaların oluşmasıyla ortaya çıkmaktadır [78]. Oksidasyon aşınması, takım veya iş parçası malzemesindeki atomların, hava ile etkileşim halinde olduğu kısmında başka bileşiklerin olmasıyla aşınma açığa çıkmaktadır.

1.3.2. Kesici Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri

Kesici takımlar arasında özellikle kesme kenarında ve kesici uçta gerçekleşen aşınma, ilk etapta yavaş belirir ve zaman geçtikçe hızlanarak fazlalaşan aşınma sürecini oluşturur. Kesici takımlarda işleme başladığı ilk andan itibaren aşınma olayı görülür. Aşınma yürüdükçe işlem için gereken kuvvetler artar, oluşan ısı bu oranda yükselir ve aşınma daha da hız kazanmış olur. Aşınmanın yoğun olması, takımda işleme için önemli olan uçların kesiciliğini kaybetmesine neden olur ve takım ömrünü negatif şekilde etkiler. Belirlenen takımın ve işlemeye hazır malzeme için değişiklik oluşturan üretim şartları kesme esnasında ortaya çıkan kuvvetleri değiştirirken, tercih edilen takımın geometrik yapısı kuvvetleri ve oluşan sıcaklığı etkilemekte, ek olarak takım yapımı için yararlanılan malzeme de takımın aşınma biçimini tanımlamaktadır [79]. Malzeme cinsi, ilerleme hızı, devir sayısı gibi değişkenlerle takımlar için farklı aşınma türleri görülebilir. Kesici takımlarda görülen aşınma tipleri şu şekildedir:

- Serbest yüzey üzerinde meydana gelen bir aşınma bandı (Flank wear),
- Talaş yüzeyleri üzerinde oluşan krater aşınması (Crater wear),
- Kesici uç aşınması (Chisel edge),
- Kenar aşınmasıdır (Margin wear).

Serbest yüzey üzerinde meydana gelen bir aşınma bandı (Flank wear): Serbest yüzey aşınması talaşlı biçimlendirme yöntemlerinde sıklıkla meydana gelen bir aşınma türüdür. İş parçası yüzeyinde olan sert yapıdaki alanlar, takım yüzeyine temas etmesiyle meydana gelir. Temas sonucu oluşan sürtünme, kesici takımların yan bölümlerine negatif yönde tesir eder ve bu tesirin niceliği sonucu serbest yüzey aşınma tipi ortaya çıkar. Aşınma miktarı, tehlikeli boyutları aştığında takımlar fonksiyonunu yitirirler ve işleme esnasında arzulanmayan vibrasyonlara neden olur. Bu olumsuz durum, iş parçasının yüzey kalitesini aksi yönde etkiler [80].

Talaş yüzeyleri üzerinde oluşan krater aşınması (Crater wear): Krater aşınması kesici takım üzerinde farklı iki olayın sonucunda ortaya çıkmaktadır. Talaşın yüzeyinde abrasif ve difüzyon aşınmasının olması krater aşınmasına neden olmaktadır. Krater, talaş kaldırma sırasında sert taneciklerin takımın talaş ayıran kısmında zımpara işlemi gibi bir durum akabinde veya kimyasal tepkime oluşturabilecek olan takım ve iş parçası malzemesinin takımın talaş yüzeyinde difüzyon eylemini yapmasıdır. Krater aşınması, takım ucunun meyilli bölgesinde birikir ve farklı iki halin oluşması sonucunda takımın şekilsel yapısı deforme olur. Fazla oluşan krater aşınması, kesme kenarını zayıf düşürür ve kırılmaya neden olabilir [81].

Kesici uç (Chisel edge) aşınması: Kesici uç aşınması, takımın kesici kenar merkezinde oluşur ve abrazyon aşınması veya plastik deformasyon sonucunda ortaya çıkar. Bu aşınma çeşidi, takım üzerinde oluşan itme kuvvetini (eksenel baskı kuvveti) iki veya üç katına arttırabilir ve takımın odaklanma duyarlılığını etkiler [81].

Kenar aşınması (Margin wear): Kesme ağzının dış köşesinde veya delik açılmış yüzeye değen noktada oluşur. Kenar aşınması, abrazyon aşınma, ısıl sertliğini kaybetme veya difüzyon aşınması neticesinde ortaya çıkar. Fazla oranda oluşan kenar aşınması, zayıf delik çap kontrolü ve yüzey pürüzlülüğü ile işlem tamamlanır. Yaygın şekilde, kenar aşınması, yığma kenar oluşumu veya odaklanma bozuklukları eşlik etmediği müddetçe olması gereken çap değerinden daha küçük bir delik oluşturur [81].

1.3.3. Kesici Takım Ömrü

Kesici takım ömür tahmini yapmanın en makbul belirleyicisi, takımın önceden saptanan bir aşınma oranına denk talaş kaldırma süresi olduğundan bahsedilebilir [83]. Takım

ömrünü tanımlayan değişkenler işlemin metoduna uygun çeşitlilik sunar; delme, vargel, planya gibi işlemlerde bu değişken imal boyu veya uzunluğu (L) olurken, frezeleme de bu durum kaldırılan talaş hacmi olarak tanımlanmaktadır. Takım ömrü, imalat masrafını ve işlem duyarlılığını dikkate değer ölçüde etkilemektedir. Takım kabul edilebilir bir aşınma noktasına eriştiği andan itibaren yapılan işlem olumsuz koşullarda devam edecek ve bundan kaynaklı, üründe istenmeyen olaylar meydana gelecektir. Bu durumda, takım ömrü zamanının tanınması ve aşınma olayı ortaya çıktığı anda farklı bir takım ile talaş kaldırma işlemini sürdürmek oldukça önemlidir [84]. Kesme şartlarının ve yöntem sınırlarının elverişli şekilde belirlenmesi takım ömrünü yükselteceğinden işleme performansının artması buna eşlik edecektir [51].

Kesici takım ömrü, talaşlı imalatla en etkili mali unsurlardan biri tanesidir. Kaba işleme yöntemlerinde değişik takım açı dereceleri, kesme hızları ve ilerleme oranları hesaplı bir takım ömrü elde etmek için belirlenmelidir. Oldukça kısa kullanım oluşturan şartlar kazançlı bir durum oluşturmaz. Takım taşlama ve takım değişikliği yapmak işletme giderlerini arttırır. Bunun yanı sıra, takımın kullanım zamanını arttırmak yani ömrünü uzatmak amacıyla epey düşük kesme hızı ve ilerlemenin verilmesi, imalat veriminin az olması yüzünden ekonomik olmaz [85].

Kaplama tekniğiyle, yöntem uygulanırken takımda oluşacak aşınma miktarını azaltmada oldukça güçlü bir yardımda bulunmuştur. Kesici takım yüzeyine işlenecek malzemeye uygun kaplama imal etmek, takım ömrü üzerinde olumlu sonuçlar vermesini sağlamıştır. Kaplama tipleri, oldukça farklı ısı ve fiziki artıları olup, doğru bir kaplamanın belirlenmesi, takımda oluşabilecek aşınmanın değişik şekillerini azaltmaktadır [86].

Kesici kenarın yapması gereken işlemleri istenen yüzey kalitesini ve boyut hassasiyeti sağlamak ve talaş kontrolü yapamayacak seviyede aşınması sonucu, kullanılan takımın ömrünün bitmiş olduğu kabul edilmektedir. Aşınma veya kırılma dolayısıyla kesici takım hasarı arttığından dolayı, yüzey pürüzlülüğü ve işlenen yüzeyin hassasiyeti kötüleşmektedir [6,71]. Talaşlı imalat sektöründe kullanılan takımların ömrünün belirlenmesi ve buna göre hareket edilmesi son derece önemlidir. Takım ömrü ölçütleri çoğunlukla yapılan talaşlı işlemin kaba ya da ince olmasına bağlıdır. Kesici takımda bir kırılma meydana gelmeden veya hatalı bir parça üretilmeden hemen önce kesici takım

değiştirilmelidir. Bu sebeple takımın değiştirilmesinde önemli olan kırılma değil aşınma miktarıdır [5,7].

1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenen parçaların yüzey niteliğinin kabul edilebilir değerlerde olması, kalitenin artırılmasını desteklemesi doğrultusunda istenilen bir faktördür. Yüzey pürüzlülük değerleri, makina elemanlarının fonksiyonel yeteneklerine etki edebilen bir değişkendir [87]. Talaşlı üretim metotlarında, işlenecek malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesici takım malzemesi, kesme sıvısı ve tezgâh yapısı gibi çok fazla unsurun, yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı etkileri mevcuttur. Bu etkenlerden bir tanesinin rastgele değişmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğü de farklılaşmaktadır [88-90].

Bir yüzey pürüzlülük sistemini iletirmek ve en uygun hale getirmek için, çalışmanın var olan yapısını anlamak önemlidir. En elverişli işleme şartlarını ve en doğru kesme takımlarını belirleme ve uygulama gereksinimi son zamanlarda duyumsanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü en kayda değer teknik gereklilik durumuna gelmiş olup, ürün kalitesinin bir işaretidir [76,91].

Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Unsurlar

Yüzey pürüzlülüğü, bir ürünün niteliğini belirten ve iki parçanın birleşme bölgesinde oluşan hassas bir kalite kıstasıdır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin doğru nicelikler aralığında olmasıyla malzemenin yorulma direnci, kırılma dayanımı, korozyona karşı mukavemetinin yükselmesine artı olarak dış görünüşün de etkileyici olmasını sağlamaktadır [92]. Oluşan yüzey pürüzlülüğü, yüzey sürtünmesine neden olan kontak, aşınma, ısı aktarımı, yağ tabakasının yayılma yeteneği, kaplama veya dayanım ömrü gibi parçaların farklı işlevsel durumlarını da etkiler. Bundan dolayı arzulanan yüzey kusursuzluğu için doğru işlemler belirlenir.

Talaşlı üretimde yüzey pürüzlülüğü başlıca aşağıdaki etmenlerden etkilenir:

- Takım tezgâhının rijitliği,
- Takım sabitleyicisinin rijitliği,
- Oluşan takım aşınmasının çeşidi ve oranı,
- Takım geometrik yapısı,
- Kesme koşulları,

- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Kesme sıvısının uygulamada kullanılıp kullanılmaması.

Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi kesme şartları, denetim altında en güvenilir şekilde tutulabilirken; takım geometrik yapısı, oluşan takım aşınması, talaş oluşumu, takım ve iş parçası malzemesi denetim altında tutulamayan etmenlerdir. Takım tezgâhında işlem esnasında oluşan titreşimler, işlenecek malzemenin bünyesinde mevcut olan bozulmalar, oluşan takım aşınması veya talaş oluşumunun ayarsızlığı, işleme anında yüzeysel hatalar oluşmasına sebep olurlar. Talaşlı üretimde yaygın olarak yüksek kesme hızları altında çalışıldığında yüzey kalitesinde iyileşme sağlanabilir. Fakat yüksek kesme hızı takımın uç kısmının sivrilikliğini kaybetmesini hızlandırdığından dolayı yüzey kalitesi uzun süre sabit olarak kalmaz [92].

1.3.5. Kesme Sıvıları

İşleme anında oluşabilecek sorunların çözüm yolunda, kesme sıvısının kullanılması oldukça önemlidir. Talaşlı üretimde kesme sıvısı uygulamaları, hem yağlama şekli ile kesici takım ve talaş ara bölmesinde oluşan sürtünmeyi düşürmesi hem de kesme alanında ortaya çıkan ısının azaltılmasında etkilidir [61]. Elde edilen talaşın kesme ortamından atılmasını da destekler. Metal kesme işlemlerinde uygulanan kesme sıvısı, talaş akış ve takım verimliliğinde, özellikle takım ömründe artış sağlamak ve talaş kaldırma imalatının iyileştirilmesini olumlu yönde etkilemektedir [63, 67]. İşleme sıvıları soğutucu ve yağlayıcı olarak iki grupta belirtilir. Soğutucu tarafının ısı transfer yeteneği, yağlayıcı tarafının ise iyi bir ıslatıcı yeteneği vardır. Bunların dışında, kesme sıvılarının birçok fonksiyonu şu şekilde sıralanabilir:

- Oluşan talaşın şekli üzerinde etkili olmak ve uzaklaştırmak,
- Talaş takıma sıvanması ve yığıntı kenar (BUE) oluşumunu kontrol altına almak,
- Fazla güç harcanmasının önüne geçmek,
- Korozyonu önlemek,
- Takım ömrünü arttırmak ve performansını yükseltmek,
- Zehirli ve yanıcı etkisi olmayan tehlikesiz bir çalışma alanı sağlamaktır.

Talaşlı üretimde, soğutma sıvısından hem soğutma, hem de yağlama fonksiyonunu gerçekleştirmesi istendiğinden, suyun korozyon oluşturma işlevini engelleyecek maddeler seçilerek soğutma sıvıları kullanıma hazırlanır. Bundan dolayı su bünyesine

eklenebilen likitlerden destek alınır. Soğutma sıvısı kullanımları yükselen kategoride su ile homojen olarak karışabilen kimyasal maddeler bulunmaktadır. Sulu çözeltiler olarak da bilinen kimyasal maddeler, paslanmaya karşı güçlendirilmiş ve yoğun yapıdadır [51].

Deney çalışmada, DIN 1.3247 çeliğinin CNC tezgâhta işlenmesi sırasında, birbirinden farklı malzemelerin işleme yöntemleri için etkinliği arttırılmış biostabil, neo-sentetik, evrensel yeni nesil metal işleme sıvısı olan sentra 250 H kullanılmıştır. İçinde ki yüksek performans ilaveleri iyi kesme fonksiyonu sağlar. Hafif ve orta ağırlıktaki işleme operasyonları için elverişlidir. Bu sıvının genel yapısı, bütün operasyon uygulamalarına elverişli olması, iyi işleme özelliklerine sahip olması, çok iyi yıkama özelliği, iyi pas kontrolü, takım ömrünü arttırması ve mineral yağ içermemesi olarak sıralanabilir [68]. Bu kesme sıvısı, CNC tezgâhlarda % 3-5 oranında su ile karıştırıldıktan sonra kesme sıvısı olarak tatbik edilmektedir.

1.4. Literatür Araştırması

Bu çalışmada, talaşlı imalat yöntemi olan frezeleme işleminde kullanılacak, Karbür, EXT-CRN ve TiSiN kaplı kesici uçların farklı kesme parametrelerinde aşınma durumu deneysel olarak incelenmiş ve bu parametreler optimize edilmiştir.

Liu, Wei, ve diğerleri, (2017), [2] Talaş kaldırma işlemi istenen geometri, tolerans ve yüzey kalitesinde olmalıdır. Talaşlı imalat parça üretmek için yüzeyden talaş kaldırma yöntemiyle gerçekleştirilir. Deneysel olarak kesme parametreleri ve kesici takım, işlemede iş parçası, makine vb. mekanik elemanlar işlemin bir parçası olarak değerlendirilir [8].

Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, tezgâh devir sayısı, kesme hızı, kesme kuvvetleri, ilerleme hızı gibi parametreler, kesici türü ile takım geometrisine bağlı parametrelerdir [34-35].

Nas E., Samtaş G., Demir U., (2011), [3] İşlenebilirlik göstergeleri olarak kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü en önemli parametrelerdir. Ayrıca yüzey kalitesini etkileyen farklı birçok parametre vardır. Bunlar kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, ilerleme hızı, malzeme karakteristiği ve sertliği olarak görülmektedir [3].

Navarro-Devia J.H., ve diğerleri, (2017), [4] Sertleştirilmiş çeliklerin kesme deneyleri, kaplanmış kesicilerin aşınma modlarının esas olarak yapışkan aşınması,

difüzyon aşınması ve oksidasyon aşınması olduğunu ve kırılma modunun kaplama soyulmaları olduğunu göstermiştir. Hem TiAlSiN hem de TiCrAlSiN kaplamalar, TiSiN ve TiCrSiN kaplamalara göre daha uzun takım ömrüne sahiptir, çünkü eski kaplamalar, daha yüksek tokluk ve daha düşük sürtünme katsayısı ile gelişmiş bir yüksek sertlik kombinasyonuna sahiptir. Bunun nedeni, bu kaplamaların talaşları kolayca çıkarabilmesi, kaplama soyulmalarının görünümünü ve aşınma etkisini etkili bir şekilde azaltması ve sonuç olarak karbür kesici takımın hizmet ömrünün önemli ölçüde artmasıyla sonuçlanmasıdır [33-37].

Rao Ch.M., Venkatasubhaiah K., Rao K.J., (2016), [5] Çalışmada TiAlN kaplamaların işleme operasyonları sırasında normal olarak kesici uçta karşılaşılan sıcaklıklarda daha yüksek sıcak sertliği ve oksidasyon direncinin hem aşındırıcı hem de krater aşınmasına karşı daha yüksek direnç sağladığını ve dolayısıyla daha uzun bir takım ömrüne sahip olduğunu göstermiştir.

Benardos P.G., Vosniakos G.C., (2003), [6] Çalışmada, sertleştirilmiş takım çeliğini işlemek için, ağır yükler ve yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışı kontrol edildiğinde, kaplamanın yüksek sıcaklıklarda hem yüksek sıcak sertlik hem de geliştirilmiş oksidasyon direncinin iyi bilinen bir kombinasyonunu sergilemesi gerektiğine işaret edilmiştir. Ayrıca, sert kaplama geliştirmeye yönelik geleneksel yaklaşım, yeni bir kaplamanın takım ömrünün iyileştirilmesi için yüksek sertliğin yüksek oksidasyon direnci ile birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır.

Settineri L., (2008), [47] Çalışmada, yüksek hızlarda AlSiTiN ve AlSiCrN nanokompozit kaplamaların aşınma direncini analiz etmiştir. Kaplanmış kesiciler, kuru koşullarda frezeleme işleminde test edilmiştir. Kesiciler çok katmanlı ve gradyan mikro yapıya sahip katodik ark PVD ile kaplanmıştır. Ticari nitrür kaplı takımlarla karşılaştırmıştır. Tüm numuneler, özellikle nanokompozitler substrata iyi yapışma ve yüksek sertlik göstermiştir [19]. Farklı koşullar altında tribolojik testlerle incelenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci göstermiştir. Aslında oda sıcaklığında AlCrN kaplamaların üstünlüğü gözlenirken, 600 ° C'de Ti bazlı kaplamalar daha yüksek bir direnç ortaya koymuştur. Yüksek sıcaklıktaki testlerde gözlemlenen eğilim, frezeleme işlemlerinde aynı kaplamalar kullanılarak elde edilmiştir [47].

M. Nouaria, A. Molinari, (2008), [48] Aşınma, kesici takımın malzeme kaybindan ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük faktörlerinin bir kombinasyon ürünüdür. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir. Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri; mekanik, ısı, kimyasal ve sürtünme faktörleridir [48].

Chang Yin-Yu ve diğerleri, (2014), [18] Ti-6Al-4V alaşımının frezelenmesinde kullandıkları TiAlN, CrAlSiN ve TiAlSiN ile kaplanmış karbür kesici takımların kaplamasının aşınma davranışı ve kesme performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kaplama işlemini katodik ark yöntemi ile gerçekleştirmişler ve yüksek sertlikler elde etmişlerdir (TiAlN 31 ± 1 GPa, CrAlSiN 36 ± 2 GPa ve TiAlSiN 35 ± 2 GPa). Havada 700 °C'de tavlandıktan sonra, CrAlSiN ve TiAlSiN'nin sertliği 35-36 GPa'a kadar yükselirken, TiAlN'nin sertliği 26 GPa'ya düşmüştür. 350 m/dak gibi yüksek kesme hızlarında CrAlSiN kaplı kesicinin takım ömrünün TiAlSiN ve TiAlN kaplanmış ve kaplanmamış takımların ömürlerinden sırasıyla 2,9, 4,2 ve 9,5 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Ti-6Al-4V alaşımını frezelemede kullanılan CrAlSiN kaplanmış kesici takım, yüksek aşınma direnci ve diğer kesici takımlardan (TiAlSiN ve TiAlN) daha iyi kesme performansı göstermiştir [18].

Çalışkan ve diğerleri, (2013), [20] Soğuk iş takım çeliğinin (58 HRC) frezelemesinde, nano tabaka AlTiN-TiN ve çok tabakalı nanokompozit TiAlSiN-TiSiN-TiAlN kaplamalı karbür kesici takımların aşınma davranışını ve kesme performansına etkisini araştırmışlardır. Bunların performansını ölçmek için testler yapmışlar ve işlem sırasında oluşan talaşları analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda nanotabaka AlTiN-TiN kaplamanın diğerlerinden daha iyi aşınma direnci gösterdiğini ve karbür kesici takımlarla uzun kullanım ömrü sağlayabileceklerini tespit etmişlerdir [20].

Nimase R.N., Khodeke Dr.P.M., (2015), [21] İyon kaplama yöntemini kullanarak çok katmanlı CrN kaplamalar hazırlamışlar ve bu kaplamaların aşınma direncini geleneksel CrN kaplamalarla TEM ve XPS ölçümleri yaparak kıyaslamışlardır. Bu ölçümlerin sonucu CrN kaplamaların aşınma direncinin geleneksel CrN kaplamalara kıyasla çok daha iyi olduğunu göstermiştir. Bunun sebebinin, çok tabakalı mikro yapının yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek H-E değeri ile alt tabakaya uzanan çatlakların oluşumunu engelleyebilmesi olduğunu belirtmişlerdir [21].

Byrne G., David Donrnald ve diğerleri, (2003), [22] Katmanlı bir tasarım metodu kullanarak kaplamaların kırılma tokluğunu incelemişlerdir. 12 nm ve 270 nm çift katmanlı TiAlN-CrN kaplamalar hazırlamışlardır. XRD sonuçları ile çok katmanlı kaplamaların yüzey merkezli kübik yapılara sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Çok katmanlı kaplamanın katmanlarının kalınlığı 270 nm'den 25 nm'ye düştüğünde kaplama sertliğinin 24.5 GPa'dan 18.1 GPa'ya düştüğünü ve çok katmanlı kaplamaların katman kalınlığının azalmasıyla kırılma tokluğu ve adhezyon mukavemetinde artış sağlandığını gözlemlemişlerdir [21]. Maksimum kırılma tokluğu ve adhezyon mukavemeti 25nm kalınlığa sahip kaplamada sağlanmıştır. Çok katmanlı kaplamalarda yüksek kırılma tokluğunun temel nedeninin çatlak yayılımının önlenmesi olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, iki katmanlı kaplama kalınlığı daha da azaltıldığında (12 nm), kaplama sertliği 23.4 GPa'ya hızla yükselmeye başlarken kırılma tokluğu ve yapışma mukavemetinin düşmeye başladığını gözlemlemişlerdir [22].

Y.Niu, J.Wei, Z.Yu, (2012), [23] Kaplanmış sementit karbür kesiciler, kaplamasız bir kesici takım ömrünü (özellikle yüksek kesme hızında, yani yüksek kesme sıcaklığında) uzatabilme özelliğine sahiptir. Çok katmanlı (TiN -TiCN - TiN) PVD kaplı takımlar, takım ömrü açısından tek katmanlı (TiN) PVD ve çok katmanlı (TiC-Al₂O₃-TiCN) CVD kaplı takımlardan üstün performans göstermiştir. TiCN kaplamanın TiN kaplamaya göre üstünlüğü, daha yüksek sertliğe sahip olmasına ve aşınmaya karşı direncine bağlanabilir. Çok katmanlı PVD kaplamalı takımın daha küçük tane boyutu ve yüksek yoğunluğu, çok katmanlı CVD kaplı takıma kıyasla yüksek sertlik ve mukavemet sağlamıştır. PVD kaplı takımların CVD kaplı takımlara göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir [24].

Buna karşılık, CVD kaplaması (TiN / Al₂O₃ / TiCN) ve substrat ile Al₂O₃ kaplamanın ısıl stabilitesi arasındaki güçlü bağ sayesinde düzgün kenarlı yıpranma ve çok katmanlı (TiN / TiAlN) PVD kaplı takımlara göre kenar aşınmasına karşı üstün direnç sağlanmıştır. Benzer durum, yüksek kesme parametreleri altında gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, düşük kesme hızında (50 m / dak) PVD kaplı takım, CVD kaplanmış olandan daha iyi performans göstermiştir.

X. Sui, ve diğerleri, (2018), [25] Sertleştirilmiş çeliklerin yüksek hızlarda frezelenmesinde, kaplanmış karbür takımların işleme verimliliğini ve kalitesini artırmak

için bunların aşınmasını azaltmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sertleştirilmiş çelikleri (SKD11 / HRC62, S136 / HRC51) iki farklı PVD kaplı (TiAlN ve TiSiN) karbür kesici takımlarla işlemişlerdir. Sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızlarda frezelenmesi sonucunda TiSiN ile kaplanan kesici takımların ömrünün, TiAl ile kaplanmış kesici takımların ömründen yaklaşık dört kat daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir [25]

Takım tezgâhında farklı takım malzemesi ile kaplanmış freze uçları ile sertleştirilmiş AISI H13 çeliğini işlemişler ve incelemeler sonucu TiCN kaplı takımların en yüksek takım ömrüne sahip olduğunu bulmuşlardır [26].

Bülbül F., (2014), [27] Sementit karbür kaliteleri, kaplama malzemeleri ve kaplama biriktirme teknolojilerindeki gelişmeler, sertleştirilmiş çelikleri işlemek için kaplamalı karbür kesicilerin kullanımını genişletmiştir. CBN ve seramik kaplamalar gibi sert ama pahalı takımlara ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadırlar. Bununla birlikte, yüksek iş parçası sertliği, işleme sırasında kullanılacak kesme koşullarına belirli kısıtlamalar getirmektedir. Ayrıca, bu kesicilerin performansı büyük oranda kaplanmış kesici uçların fiziksel özelliklerine ve kimyasal bileşimlerine bağlıdır [27].

Ghani ve diğerleri, [28] Sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin frezelemesi için farklı kesme parametreleri altında TiN kaplamalı takımın aşınma mekanizmalarını araştırmışlardır. 224-355 m/dak kesme hızlarında kesici uç aşınmaları mekanizması olduğunu gözlemlemişlerdir.

Cui Xiaobin ve Jun Zhao, [62] Bu deneysel çalışmada H13 sertleştirilmiş çeliğinin talaşlı imalatında kullanılan kaplamalı karbür kesicilerin aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Aşınma problemlerinin ana sebebinin simetrik frezeleme işleminde takım kullanımı mekanizması olduğunu belirtmişlerdir.

Takım aşınması mekanizmalarını araştırmak için sertleştirilmiş çeliğin frezelenmesinde iki çeşit kaplamalı kesici kullanmışlardır. Değerlendirmeler sonunda, kesme ve yüzey aşınmasının, kesici yan yüzey aşınmasının, kırılmanın ve mikro-çentiğin, yapışma aşınmasının sert işleme sırasında kaplanmış karbür kesici uçların aşınma mekanizmaları olduğu sonucuna varmışlardır [30-32].

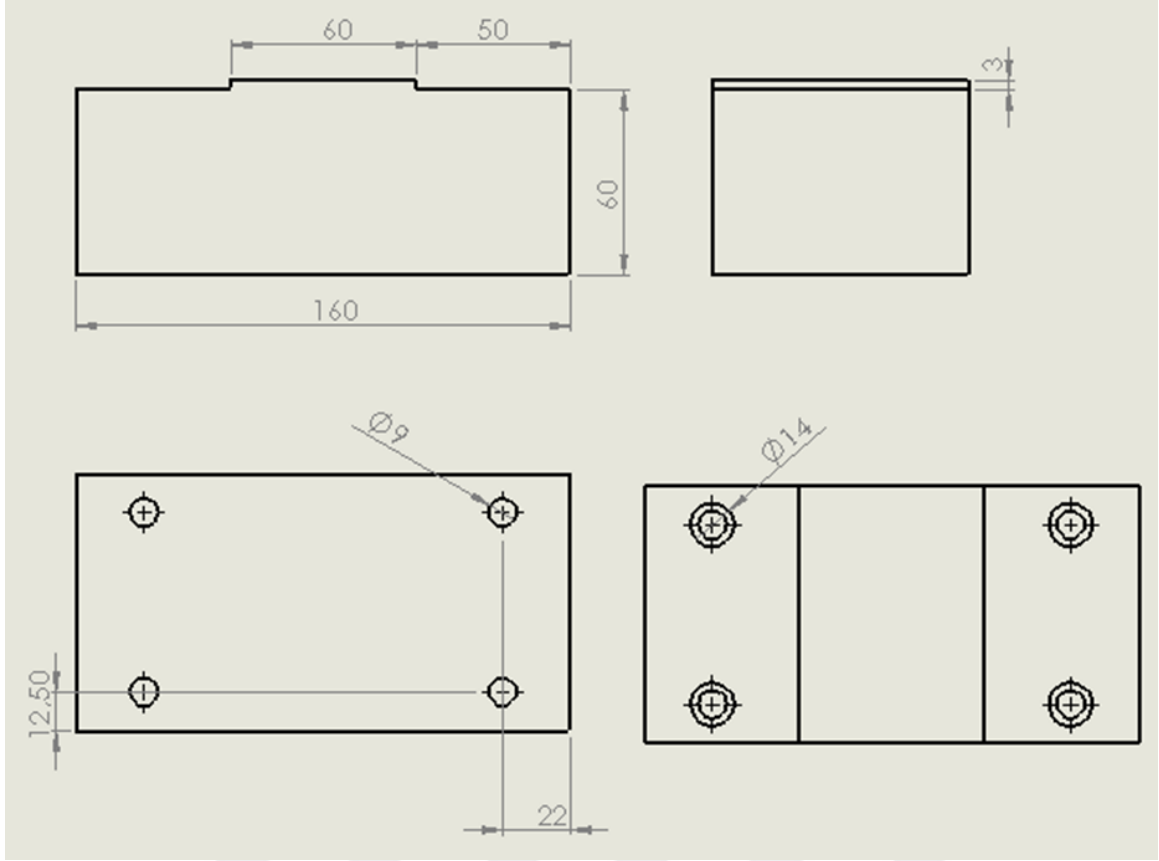
2. DENEYSEL UYGULAMALAR VE PARAMETRELER

2.1. Araştırma Metodu

Bu çalışmada; talaşlı imalat yöntemi olan frezeleme işlemi kullanılarak, CNC freze tezgâhında DIN 1.3247 çelik malzeme KARBÜR, EXT-CRN ve TiSiN kaplı kesici uçlar ile işlenmiştir. Çalışmada farklı kesme parametrelerinde aşınma durumu deneysel olarak incelendi. Deneysel çalışmalarda kesme parametreleri ve bununla birlikte kesici takım, iş parçası ve makine gibi mekanik elemanlar işlemin bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, tezgâh devir sayısı, kesme hızı, kesme kuvvetleri, ilerleme hızı gibi parametreler ve kesici cinsi ile takım geometrisi işlenebilirlik parametreleridir. İşlenebilirlik göstergeleri olarak öncelikle kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler genellikle öncelikli olarak dikkate alınan parametrelerdir.

Ayrıca yüzey kalitesini etkileyen birçok farklı etken vardır. Bunlar kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, ilerleme hızı, malzeme karakteristiği ve sertliği, kesici takım uç radyüsü, kesici takım kesme kenar açısı, takım tezgâhı rijitliği ve iş parçasının bağlanması, titreşim ve kesme sıvısıdır. DIN 1.3247 çelik malzeme tüm bu etkenler göz önünde bulundurularak CNC freze tezgâhında işlenmiştir. Deneysel çalışmada işleme sırasında, karbür freze kesici uçları, EXT-CrN kaplamalı fereze kesici uçları ve TiSiN kaplamalı freze kesici uçlarında oluşan aşınma durumları optimize edilmiştir.

Bu kesicilere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ölçülerek optimum işleme şartları belirlenmiştir. Deneysel çalışmada iş parçası olarak, yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldıracılma özelliğine sahip, yüksek sıcaklıkta sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyabilen, yüksek hız çeliği olan DIN 1.3247 çeliği kullanılmıştır. Deneyde kullanılan iş parçasının teknik resmi blok malzemeden şekillendirilerek hazırlanmıştır. Şekil 2.1 'de hazırlanan malzemenin teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 - İş parçasının teknik resim ölçülendirilmesi

Deneyssel çalışmada bağlama mesafeleri literatürde ideal olduğu belirtilen bağlama boyları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir ve buna göre düzenek tasarlanmıştır. Deney düzeneğinde; üç eksenli lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen QUASER MV204 model CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. CNC freze tezgâhında farklı kesici uçlarla frezeleme işlemi yapılan malzemenin yüzey kalitesi incelenerek kesici takım ve yüzey karşılaştırmaları yapılmıştır. Hedeflenen uygun değere ulaşabilmek için endüstriyel olarak en önemli faktörler olan kaplama türü, kesme hızı, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri deney tasarımı optimizasyon tekniği yardımıyla incelenmiştir.

Talaş kaldırma işlemlerinde yapılan deneyler sonucunda meydana gelen aşınmalar için matematiksel model elde edilirken;

Devir Sayısı (dev/dak),

Kesme Hızı (m/dak),

Kesme Derinliği (mm),

İlerleme Hızı (mm/dak),

Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) değerleri kullanılmıştır.

Model ile bu denklemdeki sabit katsayılar Minitab R18.2 paket programı yardımı ile optimize edilmiştir. Metal kesmenin modellenmesi kesici takım ve talaş ara yüzü için oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.

Üretim sektöründe görülen hızla artan rekabet ve talep edilen en az hata, üretilen ürünlerin de maliyetini arttırmaktadır. Bu yüzden talaşlı üretimde önemli unsur olan kesme ve kesme performansı mümkün oldukça en iyi şekilde analiz edilmelidir. Talaş kaldırmada asıl amaç ; en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde etmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini muhafaza etmek için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek gerekir. Optimum kesme şartlarının seçimi ekonomik fayda sağlamada önemli bir faktördür.

Frezelemede kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini saptamak için deney tasarımı metodu yardımıyla deney verileri dizayn edilmiştir. Kesme hızı, devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliği kontrol faktörü olarak seçilmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için uygun değerlerde talaş kaldırma kombinasyonları belirlenmiştir. Elde edilecek sonuçlar ışığında matematiksel modeller oluşturulmuştur. Deney tasarımında ihtiyaç duyulacak sayıda gereken deney sayısı kullanılarak hedeflenen sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

2.1.1. Deney Tasarımı

Deney tasarım metotları, en az sayıda deney ile en ideal sonucu elde etmek için çeşitli değişkenlerin deney kombinasyonlarını düzenleyen metotları kapsamaktadır. Deney tasarım metotları tasarlanan deney sayısına göre etkili sonuçlar ortaya koyma açısından birbirinden ayrılmaktadır. Deney tasarımı, elde bulunan seçeneklerin tercihi ile ilgilidir. Deney tasarımı elde bulunan ve çalışan bir modelin karar değişkenleri arasında en iyi olanı seçme için kullanılır [12]. Taguchi yönteminin birçok imalat sektöründe

kullanıldığı ve başarılı sonuçlar elde edildiği ispatlanmıştır [77]. Mühendislik analizlerinde oldukça fazla kullanılan Taguchi yöntemi işlem ya da ürünlerin mühendislik optimizasyonunda üç adımlı yaklaşım önermiştir; bunlar sistem, parametre ve tolerans tasarımlarıdır [13].

Deneysel çalışma Taguchi yöntemine göre tasarlanmıştır. Faktör ve seviye sayıları farklı olduğundan dolayı Minitab yazılımından yararlanılarak Ortogonal (mixed level design) diziye göre belirlenen deney yapılmıştır.

2.2. Deneysel Çalışma

Çalışmada belirlenen farklı parametreler TAGUCHİ programında deney sayısı belirlemek ve çalışma kriterlerini tasarım yapmak için oluşturulmuştur. Oluşturulan çalışma şartları tablo halinde programdan alınmıştır. Karbür, EXT-CrN ve TiSiN kaplamalı kesici uçlarla yapılan uygulamada kullanılan tezgâh devir sayısı, kesme hızı, dış başı ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak işleme sonrası elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri ve deneysel çalışmada kullanılan değişken parametreler Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 - Deneysel çalışmada kullanılan değişken parametreler

Deney No	Kullanılan Kesici Takm.	Devir Sayısı(dev/dak)	Kesme Hızı(m/dak)	Kesme Derinliği(mm)	İlerleme Hızı(mm/dak)
1	Karbur	1	1	1	3
2	Karbur	1	2	2	2
3	Karbur	1	3	3	1
4	Karbur	2	1	1	2
5	Karbur	2	2	2	3
6	Karbur	2	3	3	1
7	Karbur	3	1	1	1
8	Karbur	3	2	2	3
9	Karbur	3	3	3	2
10	EXT-CrN	1	1	1	3
11	EXT-CrN	1	2	2	2
12	EXT-CrN	1	3	3	1
13	EXT-CrN	2	1	1	2
14	EXT-CrN	2	2	2	3
15	EXT-CrN	2	3	3	1
16	EXT-CrN	3	1	1	1
17	EXT-CrN	3	2	2	3
18	EXT-CrN	3	3	3	2
19	TiSiN	1	1	1	3
20	TiSiN	1	2	2	2
21	TiSiN	1	3	3	1
22	TiSiN	2	1	1	2
23	TiSiN	2	2	2	3
24	TiSiN	2	3	3	1
25	TiSiN	3	1	1	1
26	TiSiN	3	2	2	3
27	TiSiN	3	3	3	2

2.2.1. Kesme Parametreleri

Talaş kaldırma deneyleri sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine ait matematiksel model elde edilirken; devir sayısı (dev/dak), kesme hızı (m/dak), kesme derinliği (mm) ve ilerleme hızına (mm/dak) bağlı olarak modeller kurulmuştur.

Bu çalışmada freze tezgahında işlenen parçaların yüzey kalitesine, şekil, boyut ve konum toleransları üzerine etki eden kesici takım aşınmaları incelenerek, minimum aşınmanın olduğu optimum şartlar belirlenmiştir. Ayrıca minimum ortalama yüzey pürüzlülüğü için de optimum şartlar tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan tezgâh devir sayısı, kesme hızı, diş başı ilerleme ve kesme derinliği için belirlenen değişken parametreler Tablo 2.2 'de verilmiştir.

Tablo 2.2 - Deneyisel çalışmada kullanılan değişken ölçüm değerleri ve yüzey ölçüm sonuçları

Deney No	Kesici Takım	Devir Sayısı(dev/dak)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Kesme Derinliği (mm)	(Ra) Ortalama
1	Karbur	3000	160	0.24	1.5	0,691
2	Karbur	3000	120	0.16	1.0	0,598
3	Karbur	3000	80	0.08	0.5	0,4726
4	Karbur	6000	160	0.24	1.5	0,4544
5	Karbur	6000	120	0.16	1.0	0,5888
6	Karbur	6000	80	0.08	0.5	0,6954
7	Karbur	9000	150	0.24	1.5	0,62
8	Karbur	9000	120	0.16	1.0	0,5692
9	Karbur	9000	80	0.08	0.5	0,6966
10	EXT-CrN	3000	160	0.24	1.5	0,8602
11	EXT-CrN	3000	120	0.16	1.0	0,8106
12	EXT-CrN	3000	80	0.08	0.5	0,8338
13	EXT-CrN	6000	160	0.24	1.5	0,804
14	EXT-CrN	6000	120	0.16	1.0	0,7714
15	EXT-CrN	6000	80	0.08	0.5	0,7392
16	EXT-CrN	9000	150	0.24	1.5	0,8682
17	EXT-CrN	9000	120	0.16	1.0	0,7692
18	EXT-CrN	9000	80	0.08	0.5	0,4434
19	TiSiN	3000	160	0.24	1.5	0,3806
20	TiSiN	3000	120	0.16	1.0	0,3912
21	TiSiN	3000	80	0.08	0.5	0,4168
22	TiSiN	6000	160	0.24	1.5	0,4102
23	TiSiN	6000	120	0.16	1.0	0,3938
24	TiSiN	6000	80	0.08	0.5	0,408
25	TiSiN	9000	150	0.24	1.5	0,3626
26	TiSiN	9000	120	0.16	1.0	0,362
27	TiSiN	9000	80	0.08	0.5	0,3562

2.3. Deneyisel Çalışmada Kullanılan İş Parçası (DIN 1.3247)

EN/ DIN 1.3247 HS2-9-1-8 (AISI M42) (BÖHLER S500): Çelik malzeme yüksek molibden ve %8 kobalt elementi içeren, yüksek sertlik alabilen, yüksek tokluğa, kesme yeteneğine, aşınma direncine ve kesici kenarlardan parça kopmama özelliğine sahip, derinlemesine sertleşebilen, düşük vanadyum alaşımı sebebiyle iyi taşlanabilen, yüksek sıcaklıklarda sertliğini kaybetmeyen, ince taneli ve ince karbür boyutlu yüksek hız çeliğidir.

AISI M2 S500 ağır iş takımlarında kullanılmaktadır. Tavsiye edilen sertlik 65 - 68 HRC. Yüksek hız takım çelikleri, yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldırabilme özelliğine sahip, yüksek sıcaklıkta sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyabilen malzemelerdir. Bu özelliklerin kazanılması için uygun oranlarda alaşım elementlerinin

ilavesi ve uygun ısıtma şartlarının sağlanması gereklidir. DIN normlarına göre bazı yüksek hız takım çelikleri: 1.3343, 1.3243, 1.3247, 1.320 [9].

İşlenen Malzemenin Kullanım Alanları: Kesici takımlar, freze, rayba, pafta, broşlar, testere ağzı, matkap uçları, şerit testere ve kılavuz üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca %8 Co içeren tokluğu yüksek olan malzeme; Al ve alaşımlarını, pirinçleri, otomat çeliklerini işlemede kullanılan tornalarda ve delme zımbaları için idealdir.

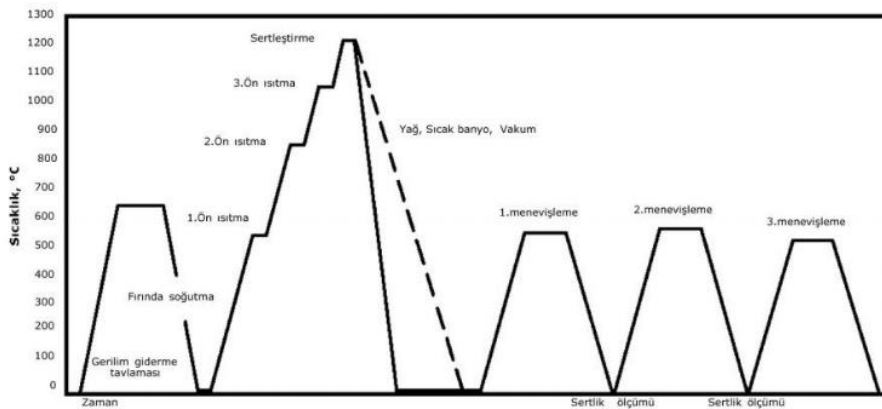
CNC freze tezgâhında işlenen DIN 1.3247 çelik malzemeye deneysel çalışmalar yapıldıktan sonra deneyde kullanılan tüm kesici uçların mikroskop görüntüleri alınarak aşınma davranışları incelenmiştir. İşlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri ölçülerek, frezeleme işlemi sonrası uçlardaki aşınmalar kullanılmamış uçlar ile karşılaştırılmıştır. Optimizasyon teknikleri kullanılarak en uygun çözümler elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Tablo 2.3 'de DIN 1.3247 çelik malzemenin kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.3 - DIN 1.3247 çelik malzemenin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	C	Cr	Mo	W	Co	V
% Ortalama	1,1	4	9,5	1,55	8	1,1

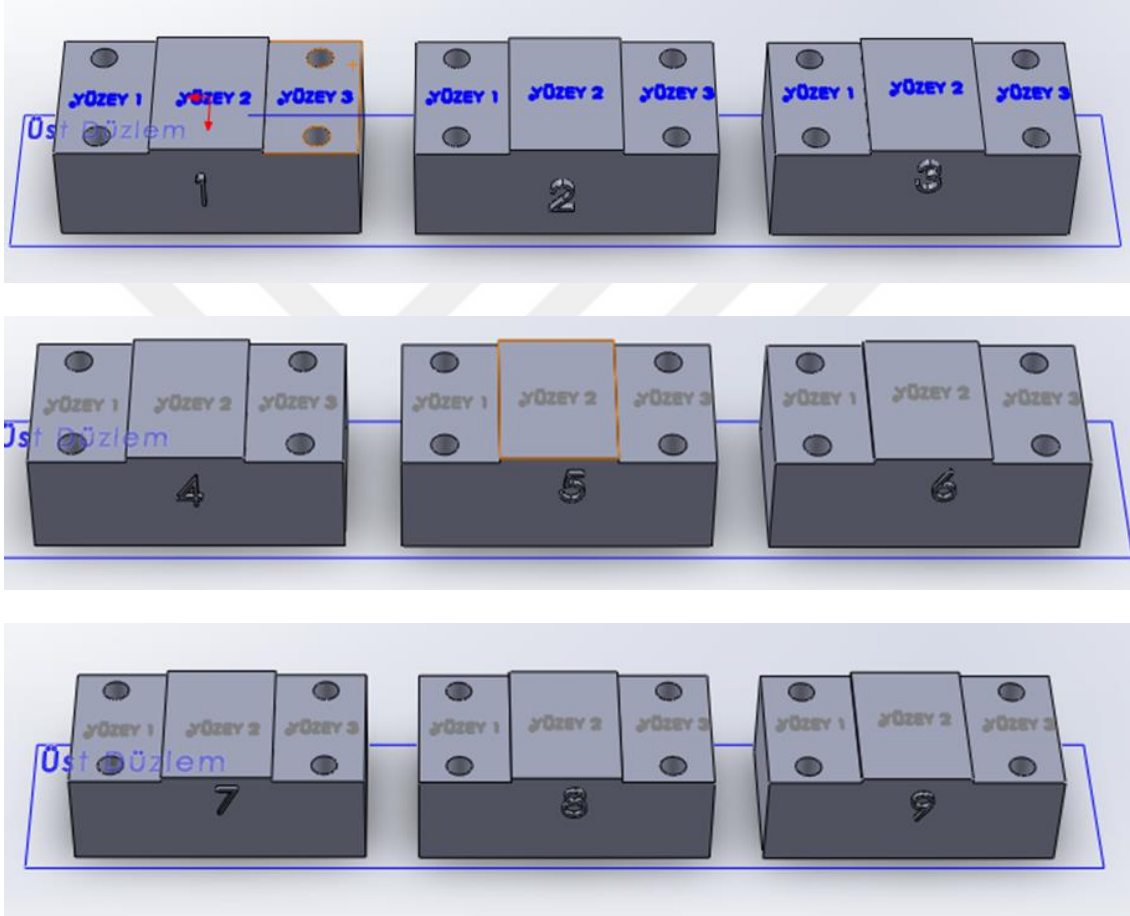
Hazırlanan malzemeye ısıtma işlemi yapılmıştır. Isıtma aşamasından geçen parçalar deneysel işleme hazır hale getirilmiştir. Şekil 2.2 'de deneysel çalışmada kullanılan malzemenin ısıtma işlem şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 - Deneysel çalışma için malzeme ısıtma işlem şeması

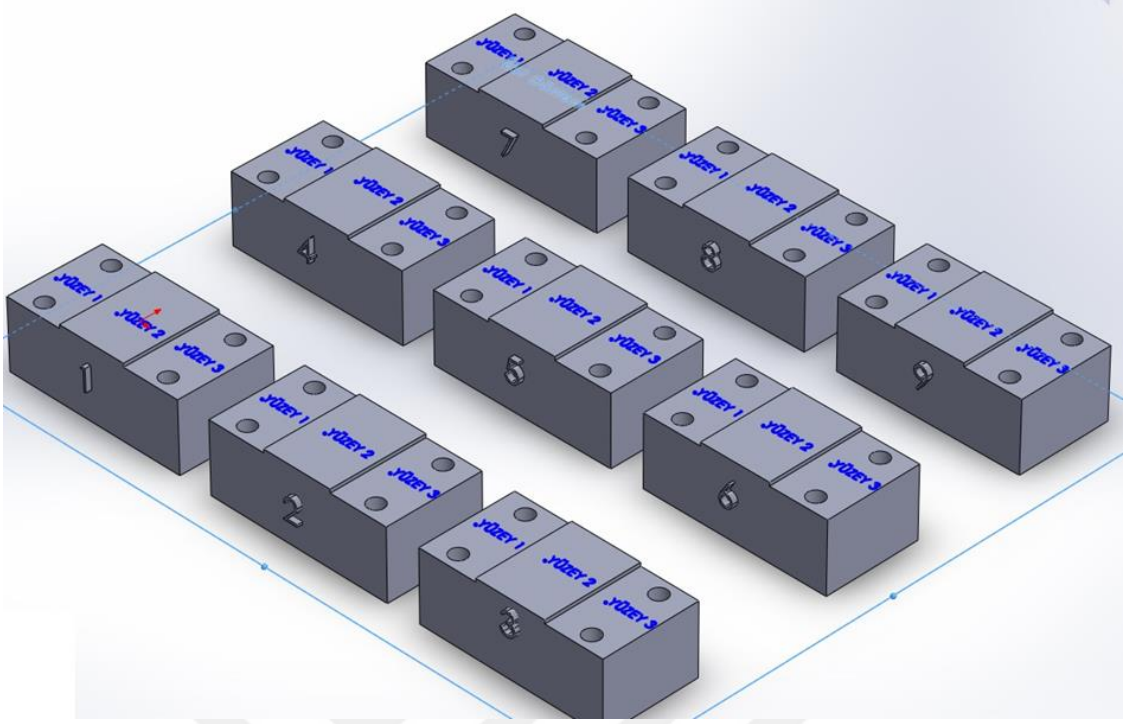
2.3.1. Deneyde Kullanılan İş parçasının Hazırlanması (DIN 1.3247)

CNC freze tezgâhında deneysel çalışmalar için DIN 1.3247 çelik malzeme kullanılmıştır. Deneysel çalışma için DIN 1.3247 malzeme Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi belirlenen ölçülerde kesilmiştir (9 adet iş parçası). Parçaların 6 yüzeyi kaba olarak gönyesinde ve teknik resim ölçülerinde işlenerek yüzey çapakları temizlenmiştir.



Şekil 2.3 - İşlenecek 9 adet iş parçasının 3 boyutlu teknik resmi

Deneysel uygulamayı gerçekleştirmek için CNC freze tezgâhında işlenecek DIN 1.3247 çelik malzemelerin 3 boyutlu perspektif görünüşü Şekil 2.4 'de verilmiştir.



Şekil 2.4 – İşlenecek 9 adet iş parçasının 3 boyutlu teknik resmi (perspektif görünüm)

CNC freze tezgahında işlenecek iş parçaları istenen ölçülere getirildikten yani ön hazırlık işlemi bittikten sonra mengeneye bağlanma aşaması Şekil 2.5 ‘de gösterilmiştir.



(a),

(b)

Şekil 2.5 – İş parçasının mengeneye bağlanma aşaması

2.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kesici Takımlar

Deneysel çalışmada CNC freze tezgâhında DIN 1.3247 çelik malzemeyi işlemek için tarama kafası olarak 5 adet standart freze kesici uç takılabilen tarama kafası kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı grup kesici ve her grup kesici takım için 3 farklı işlenecek deney malzemesi hazırlanmıştır. Her grup deney malzemesi 9 kademede belirlenen kesme parametrelerinde işlenerek deneysel işlemler yapılmıştır. Şekil 2.6 'da 5 adet uç takılabilen tarama kafası gösterilmiştir. Sırası ile önce 5 adet dikdörtgen prizması şeklinde hazırlanan 5 adet karbür kesici, 5'li tarama kafasına takılmıştır. Deneysel çalışmada önceden hazırlanmış olan 3 adet deney malzemesi üzerinde 9 farklı kademede ve belirlenen parametrelerde kesme işlemleri tamamlanmıştır. Daha sonra ikinci grup deney çalışmaları (EXT-CrN kaplamalı kesici uçlar ile) ve üçüncü grup deneysel çalışmaları (TiSiN kaplamalı kesici uçlar ile) aynı şekilde yapılmıştır.

Kesici takım uçlarının değişimleri ve CNC tezgâh ayarlamaları yapılarak her aşamada iş sağlığı güvenliği ve atölye çalışma şartlarına uygun bir şekilde deneysel çalışmalar yapılmıştır. İşleme ve tezgâh ayarlamaları Karbür, EXT-CrN kaplama, TiSiN kaplama kesici takımlar ile işleme yapılması adına farklı devir sayıları için hazırlanan NC kodları tüm işleme ve çalışma şartlarında titizlikle uygulanmıştır.



Şekil 2.6 - Deneysel çalışmada kullanılan tarama kafası

Deneysel çalışmada kullanılan kesicilerin bağlandığı tarama kafasının, CNC freze tezgâhına monte edilmesi Şekil 2.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 - Deneysel uygulamada kesici tarama kafasının tezgâha monte edilmesi

2.4.1. Karbür Kesici Takımlar

Karbürler (sert maden uçlu kesiciler) sıcaklığa oldukça dayanıklı malzemeler olup sert karbür zerrecikleri ve yapısı sünek olan metaller ile bileşik yapılarak imal edilirler. Toz metalürjisi yöntemi ile ince tungsten karbür tozlarla yeterli oranda demir, nikel veya kobalt tozları eklenerek sıkıştırılır. Sıkıştırılan bileşik ortalama 1300 °C 'de sinterlenir. WC + Co esaslı karbür takım malzemeler, çeşitli yapıda iş parçası ve değişik işleme yöntemleri için geliştirilmiştir. Bu tip malzemeler 'sinterlenmiş karbür' olarak da bilinir [16,17]. Oldukça güçlü aşınma direnci sergilemelerinden ötürü 40 m/dak 'dan 350 m/dak 'ya kadar olan kesme hızlarında sertliğini ve kesici özelliğini koruyarak kullanılabilir [18-20].

2.4.2. EXT-CrN Kaplamalı Kesici Takımlar

EXT-CrN kaplama özellikle sert, kuru ve yüksek hız işlemleri için geliştirilmiştir. EXT-CrN kaplamalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan kalıp ve takımlar için idealdir. Yüksek kesme sıcaklığında iyi ısı iletkenliği ve kimyasal kararlılığı ile kesici uçta oluşan ısıyı talaş parçalarına aktarır. Böylece daha yüksek hızlarda çalışmaya olanak sağlayarak daha hızlı üretim, daha az bakım, daha az bileme, daha az ayar sağlayarak üretimin daha verimli olmasını ve parça ömrünün uzun olmasını sağlar.

Özellikler

1. Yüksek oksitlenme direnci (800°C)
2. Yükseltilmiş sıcaklık sertliği
3. Kimyasal etkilere direnç
4. Düşük iletkenlik katsayısı

Faydaları

1. Yüksek kesme hızı
2. Uzun takım ömrü
3. Gelişmiş yüzey kalitesi
4. Soğutma gerektirmeyen kuru işlem

Sertlik 3300 ± 300 HV, en yüksek çalışma sıcaklığı 800 °C - 1470 °F, sürtünme katsayısı 0,7 , kaplama kalınlığı 1 - 3 µm, renk siyahımsı gridir [92].

2.4.3. Karbür-TiSiN Kaplamalı Kesici Takımlar

TiSiN kaplama, hem yüksek sertliği ve üstün mekanik özellikleri, hem de yüksek sıcaklık dayanımıyla özellikle ağır koşullarda talaş kaldırma uygulamaları için idealdir. Nanokompozit özellikte bir kaplamadır.

Nanokompozit kaplamalar 1000 °C üzeri çalışma sıcaklıklarında bile sertlik kaybı ve kimyasal bozunma olmaksızın kullanılabilir. Bu özellikleri sebebiyle titanyum tarafından geliştirilen nanokompozit özellikteki kaplamalar, çok yüksek kesme sıcaklıklarının olduğu kesme uygulamalarında, sert takım çeliklerinin yüksek hızda işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda ve takım üzerinde yüksek sıcaklıkların olduğu uygulamalarda başarıyla kullanılabilir.

Özellikler ve uygulama alanları

1. Nanokompozit yapıda, çok yüksek soğuk ve sıcak sertlik
2. Çok yüksek hızlarda ağır talaş kaldırma işlemlerine uygunluk
3. Sert iş parçalarının talaşlı imalatına uygunluk
4. Yüksek talaş kaldırma işlemlerine uygunluk [92].

Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve oksidasyon dayanımı olan TiSiN kaplama, her tip kesici takım ve sert metal uçların yüzeyine uygun olan bir kaplamadır.

Aşınma olayını engellemek için uygulanan PVD kaplamalar arasında en kapsamlı yapılan kaplamaların ilki olan bu kaplamanın üstünlükleri ve özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek sertliği (2800 HV – 3200 HV) ve düşük termal iletimi sayesinde talaş parçalarının takıma ısı iletimini önleyerek takımın aşırı ısınması sonucu yumuşamasını engeller.
- Kimyasal kararlılığının fazla olması sayesinde iş parçasına yapışma eğilimi göstermez, kaygan yapıya sahiptir.
- Kimyasal tepkimelere girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi uzun süre hareketli olur.
- Kalınlığı 1(μ m)–3(μ m) arasında uygulanmasından dolayı takım ölçü hassasiyetini etkilemez.
- Kaplama malzeme yüzeyine kuvvetli yapıştığından dolayı kesici kenarlarda kaplama ayrışması görülmez [54-55].

TiSiN kaplama, 900 °C sıcaklığa ulaştığında bile elektronların bir atom ya da molekülden ayrılması olayı gözlenmez. Yüksek sertlikleri ve çok katlı (7 kat – 9 kat) yapıda olmasıyla tokluk ve aşınma direncini aynı anda barındıran bir kaplama türüdür. Özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılan takımlar için oldukça uygundur. Yüksek kesme sıcaklığında, iyi ısıl geçirgenliği ve kimyasal tepkimeye girmemesi ile kesici uçta meydana gelen fazla ısıyı talaş parçalarına iletir. Bundan dolayı daha çok kesme hızlarında çalışmayı sağlayarak daha çabuk imalat, daha az bakım, daha az bileme yapılarak imalatın daha performanslı olmasını destekler. Sürekli talaş ayıran takımlarda yeterli verimlilik elde edilir ve takım ömrünün artmasına yardımcı olur.

Şekil. 2.8 ve Şekil 2.9 ‘da kesme işlemlerinde kullanılan karbür kesici takımlar, EXT-CrN kaplamalı kesici takımlar ve TiSiN kaplamalı kesici takımlardan birer seri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 - Kesme işlemlerinde kullanılan KARBÜR ve EXT-CrN kaplamalı kesici takımlardan bir seri



Şekil 2.9 - Kesme işlemlerinde kullanılan TiSiN kaplamalı ve KARBÜR kesici takımlardan bir seri

2.5. Deneyde Kullanılan Değişken Parametreler

Deney şartlarında kullanılan devir sayısına bağlı olarak değişkenlik gösteren kesme hızı aşağıdaki Tablo 2.4 'de değerleri ile birlikte gösterilmektedir. Burada kesme hızı hesaplanırken, V_c - kesme hızı denklemi kullanılmıştır.

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/dak}]$$

Tablo 2.4 - Devir sayısına göre kesme hızları

KARBÜR	Devir Sayısı, N (dev/dak)	Kesme Hızı, V_c (m/dak)
1	3000	62,8
2	6000	94,2
3	9000	125,6
4	3000	75,36
5	6000	113,04
6	9000	150,72
7	3000	87,92
8	6000	131,88
9	9000	175,84

2.6. Deneyisel Çalışmada Kullanılan CNC Freze Tezgâhı

CNC FREZE 5 EKSEN: QUASER MV 204 II E/ 15: Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgâhı; üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen FANUC kontrol üniteli O-M serisi bir tezgâhtır.

Eksen Hareketi X:700, Eksen Hareketi Y: 500, Eksen Hareketi Z: 500, Tabla Boyutu: 900 X 500 mm. Tabla Yük Kapasitesi: 500 Kg. Takım Koni Tipi: ISO 40 /BT 40, Maksimum İş Mili Hızı: 15.000. mm/dak. Soğutma Sistemi: ECO Soğutucu [14,15].

Talaş kaldırma işleminde kullanılan değişkenler; tezgâh devir sayısı, kesme hızı, diş başı ilerleme ve kesme derinliği dikkate alınarak uygulama çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan deneysel uygulamalarda bağımlı değişkenlerle kesici takımında meydana gelen aşınma arasında denklem oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Şekil 2.10 'da CNC tezgâhı; üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama ile talaşlı işleme yapan FANUC kontrol üniteli O-M serisi bir tezgâh ve ayrıca işlemede kullanılan kontrol paneli gösterilmiştir.



(a),



(b).

Şekil 2.10 – Deneysel çalışmada kullanılan CNC kontrol paneli(a) ve CNC freze tezgâhı (b)

İşlenecek olan DIN 1.3247 çelik malzeme için belirlenen standart ölçülerde ön hazırlık çalışması yapılmıştır. Yüzeyi 6 kenardan yüzeysel kaba işleme yapılarak istenen ölçülere getirilmiştir. Daha sonra iş parçasının tezgâha bağlanabilmesi için belirlenen ölçülerde köşelerinden delikler açılmıştır. İşlenmek üzere deneysel çalışmaya hazır hale getirilerek tezgâha bağlanmıştır. Şekil 2.11 'de CNC freze tezgâhında işlenen DIN 1.3247 çelik malzeme gösterilmiştir.



Şekil 2.11 - CNC freze tezgâhında işlenen DIN 1.3247 çelik malzeme

Şekil 2.12 ‘de CNC freze tezgâhında DIN 1.3247 çelik malzeme için kullanılan kesici uçların tarama kafasına takılması gösterilmiştir.



Şekil 2.12 - Kesici uçların tarama kafasına takılması

2.6.1. CNC Freze Tezgâhında Programlama ve Uygulama

Karbür, EXT-CrN kaplama ve TiSiN kaplama yapılmış kesici takımlar ile işleme yapılması için farklı devir sayılarına göre hazırlanan NC kodları EK6’da verilmiştir.

2.7. Deney Çalışmasında Kullanılan Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Yüzey pürüzlülüğü, makinede işlenmiş bir bileşenin yüzey kalitesinin en önemli göstergelerinden biridir ve yüzeyin tribolojik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Talaş özellikleri de işlenebilirliğin önemli göstergeleri olarak kabul edilir. Talaşların deformasyonunu belirten mikro morfolojiyi, talaş kesitinin mikro özelliklerini ve talaş azaltma katsayısı veya talaş kalınlığı oranını içerir. Bu nedenle, istenen sonuçları elde etmek için, uygun kesici takım malzemesi seçimi büyük önem taşımaktadır.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için ideal ölçüm cihazı olan DIN ISO, CNOMO parametrelerinin seri ölçümlerini yapabilen, otomatik ve dinamik kalibrasyon özelliğine sahip, otomatik, 1,75/3.6/5,6/17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012 µm, entegre termal yazıcı MAHR Perthometer M2 ölçüm cihazı kullanılmıştır [11].

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapılması için kullanılan, Mahr Perthometer M2 model cihaz Şekil 2.13 ’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13 - Mahr Perthometer M2 model cihaz

2.8. Taguchi Optimizasyonu

Frezeleme, üretim sektöründe sıklıkla kullanılan en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Talaş kaldırmada temel hedef, düşük maliyetle, iyi kaliteye sahip yüksek üretim adetlerini maksimum takım ömrüyle elde etmektir. Yüzey pürüzlülüğü, üretim verimliliğine etki eden en önemli faktörlerdendir.

Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme sıvısı, iş parçasının ve kesici takımların özellikleri yüzey pürüzlülüğüne etki eden değişkenlerdir. Bu değişkenlerin her birinin ayrı ayrı yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri bilinmektedir fakat birbirleri ile kombinasyonu sonucu ortaya ne gibi sonuçların çıkacağı öngörülememektedir. Çoğunlukla bu parametreler işleme sırasında katalog verilerine veya operatörlerin sahip oldukları deneyimlere göre seçilmektedir. Optimum kombinasyonun tespit edilmesi ve kesme parametreleri arasındaki etkileşimin bulunması için çalışmalar yapılmaktadır. Endüstriyel şartlar göz önünde bulundurulduğunda deneyleri ekonomik ve zaman kısıtlarını dikkate alarak etkin bir biçimde gerçekleştirebilmek, kontrolü sağlanan veya sağlanamayan faktörlerle çıktılar arasındaki ilişkileri saptamak ve optimizasyonu gerçekleştirmek için deney tasarım yöntemlerinin uygulanması oldukça verimli bir yaklaşımdır.

Taguchi yöntemi literatürde bilim dünyasında oldukça fazla kullanılan deney tasarım yöntemlerindendir. Farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasındaki optimum kombinasyonu saptamak için uygundur. Bu metot optimum sonuçları en az sayıda deneyle elde etmek için istatistiksel olarak tasarlanmış ortogonal dizinleri kullanmaktadır. Bu sayede deney sayısı azaltılarak maliyet ve zaman bakımından tasarruf elde edilmektedir. Bu avantajları sayesinde Taguchi yöntemi birçok çalışmada kullanılmaktadır [53].

Talaş kaldırma deneylerinin sonucu olarak meydana gelen aşınmaya ait matematiksel model elde edilirken; devir sayısı(dev/dak), kesme hızı (v), diş başına ilerleme (f) ve kesme derinliği (a) ya bağlı olarak ikinci dereceden regresyon modeli elde edilmiştir. Model ile bu denklemdeki sabit katsayılar Minitab R18.2 paket programı yardımıyla optimize edilmiştir [15,16].

Metal kesme işleminin modellenmesi kesici takım, talaş ara yüzü için fazlasıyla karmaşık bir yapıya sahiptir. Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini saptamak için deney tasarımı metodu yardımıyla deney verileri tasarlanmıştır. Tezgâh devir sayısı, ilerleme hızı, kesme hızı, talaş derinliği, kontrol faktörü olarak seçilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü için optimum talaş kaldırma kombinasyonları belirlenmiştir.



3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. İş Malzemesinin Yüzey Pürüzlülük ($Ra(\mu m)$) Değerlerinin İncelenmesi

Talaşlı üretim yöntemiyle elde edilen imalatlarda, yüzey pürüzlülüğün oluşması engellenemez. Üretimde kullanılan yönteme göre şartların en doğru ve en elverişli değerlerle belirlenmesi sayesinde pürüzlülük istenilen ve hedeflenen ölçüler arasında olmaktadır. Çalışma esnasında işlenen parçada var olan pürüzlülük, parça ömrünü olumsuz yönde etkileyebilir. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü, bir malzemenin kalitesini, niteliğini belirleyen bir etmen olarak çok önemli görülmektedir.

Deneysel işlem sonucu DIN 1.3247 malzemesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü mikron derecesinde ölçüm yapabilme yeteneği olan, taşınabilir Mahr yüzey pürüzlülük ölçer ile ölçülmüştür. Bu tarz cihazların çalışma prensibi kısaca bir kol üzerine yerleştirilmiş uç veya kalem, işlenen parçanın yüzeyini tamamen çizerek ve aldığı verileri, çıktı şeklinde cihazın ekran bölümüne aktarır ve istenildiği takdirde buradan sonuçlar kayıt altına alınabilir.

Pürüzlülük ölçümü için uygulanan metot; her yüzey için 5 farklı noktadan elde edilen ölçümlerin aritmetik ortalaması, ortalama yüzey pürüzlülük ($Ra(\mu m)$) değerlerinin bulunmasını sağlamıştır.

Yüzey Pürüzlülük Ölçümü ($Ra(\mu m)$)

Deneysel işlem sonunda yüzey pürüzlülük değerleri tüm kesici takımlar için ayrı ayrı ölçülmüştür.

Deneysel çalışmada; Karbür, EXT-CrN ve TiSiN kaplamalı kesici takımların işlenmesi için, devir sayısı(dev/dak), kesme hızı (m/dak), kesme derinliği (mm), ilerleme hızının (mm/dak) farklı değerleri ile kombinasyonlar oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlardan optimum olanı belirlemek için her yüzeyden ölçüm alınmıştır. Ölçme işlemi, işlenen her yüzey üzerinde tüm yüzeylerde sıralı bir şekilde 5 farklı noktadan yapılmıştır.

En uygun sonuca ulaşmak için 5 farklı noktadan ölçülen değerlerin ortalamaları da hesaplanmıştır. Ölçülen tüm yüzey pürüzlülük değerleri tablo halinde hazırlanmıştır. Toplam 27 adet deneysel yüzeyde işlem yapıldığı için ölçülen 27 adet Ra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri tabloda verilmiştir.

Kesme işlemi sonrası işlenen malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülük ($Ra(\mu m)$) değerleri Tablo 3.1 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 - Deneysel işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

DeneyNo	Ölçm-1	Ölçm- 2	Ölçm-3	Ölçm-4	Ölçm-5	Ortalama(Ra)
1	0,404	0,832	0,781	0,501	0,937	0,691
2	0,458	0,822	0,712	0,492	0,506	0,598
3	0,428	0,513	0,302	0,512	0,608	0,4726
4	0,348	0,445	0,421	0,507	0,551	0,4544
5	0,668	0,527	0,641	0,607	0,501	0,5888
6	0,707	0,697	0,671	0,689	0,713	0,6954
7	0,652	0,591	0,643	0,586	0,628	0,62
8	0,344	0,443	0,523	0,911	0,625	0,5692
9	0,646	0,759	0,714	0,746	0,618	0,6966
10	0,708	0,816	0,911	0,945	0,921	0,8602
11	0,678	0,728	0,773	0,876	0,998	0,8106
12	0,814	0,718	0,886	0,807	0,944	0,8338
13	0,761	0,786	0,727	0,828	0,918	0,804
14	0,897	0,321	0,871	0,981	0,787	0,7714
15	0,822	0,891	0,397	0,812	0,774	0,7392
16	0,871	0,816	0,886	0,817	0,951	0,8682
17	0,838	0,876	0,612	0,607	0,913	0,7692
18	0,312	0,527	0,386	0,494	0,498	0,4434
19	0,262	0,391	0,388	0,446	0,416	0,3806
20	0,402	0,467	0,291	0,315	0,481	0,3912
21	0,477	0,312	0,425	0,396	0,474	0,4168
22	0,458	0,477	0,396	0,378	0,342	0,4102
23	0,404	0,416	0,429	0,344	0,376	0,3938
24	0,433	0,423	0,404	0,416	0,364	0,408
25	0,377	0,391	0,302	0,401	0,342	0,3626
26	0,302	0,318	0,446	0,428	0,316	0,362
27	0,408	0,304	0,378	0,373	0,318	0,3562

3.1.1. Karbür Freze Kesici Ucun İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü

Kesme işlemi sonrası işlenen malzeme yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülük $Ra(\mu m)$ değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmada karbür kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler Tablo 3.2 'de gösterilmiştir. Karbür kesici uç ile yapılan kesme işlemi sonrasında ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 - Deneyisel çalışmada karbür kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler

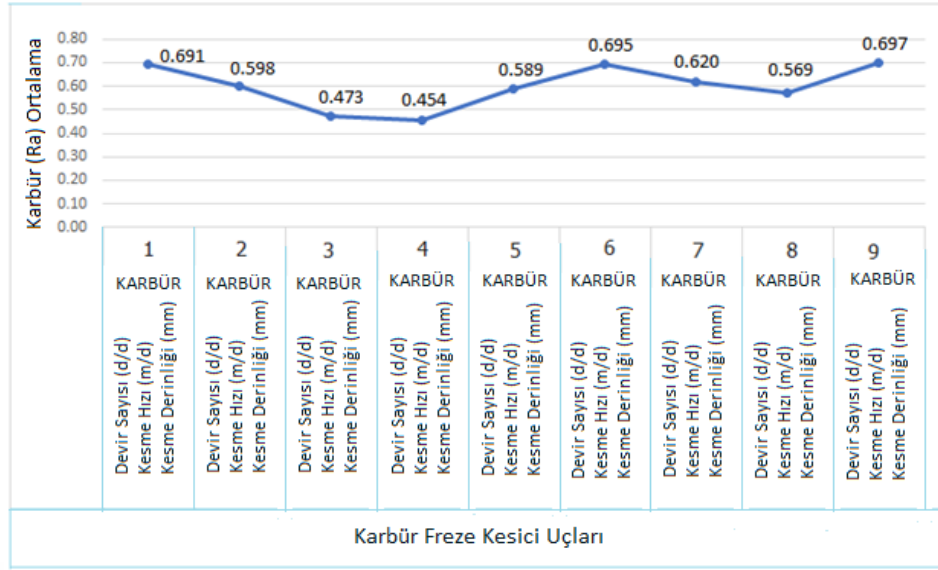
Deney No	Kullanılan Kesici Takm.	Devir Sayısı(dev/dak)	Kesme Hızı(m/dak)	Kesme Derinliği(mm)	İlerleme Hızı(mm/dak)
1	Karbur	1	1	1	3
2	Karbur	1	2	2	2
3	Karbur	1	3	3	1
4	Karbur	2	1	2	2
5	Karbur	2	2	3	3
6	Karbur	2	3	1	1
7	Karbur	3	1	3	1
8	Karbur	3	2	2	3
9	Karbur	3	3	1	2

Tablo 3.3 - Karbür kesici ucun işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri

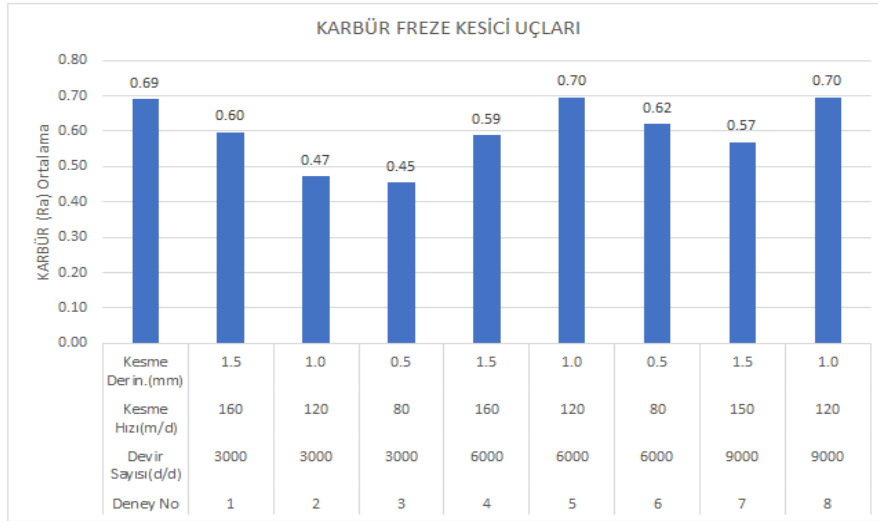
DENEY NO	1. Nokta (µm)	2. Nokta (µm)	3. Nokta (µm)	4. Nokta (µm)	5. Nokta (µm)	Ortalama Ra (µm)
1	0,404	0,832	0,781	0,501	0,937	0,691
2	0,458	0,822	0,712	0,492	0,506	0,598
3	0,428	0,513	0,302	0,512	0,608	0,4726
4	0,348	0,445	0,421	0,507	0,551	0,4544
5	0,668	0,527	0,641	0,607	0,501	0,5888
6	0,707	0,697	0,671	0,689	0,713	0,6954
7	0,652	0,591	0,643	0,586	0,628	0,62
8	0,344	0,443	0,523	0,911	0,625	0,5692
9	0,646	0,759	0,714	0,746	0,618	0,6966

Tablo 3.4 - Karbür kesici ucun kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri

Deney No	KARBÜR	Devir Sayısı(dev/dak)	Kesme Hızı(m/dak)	İlerleme Hızı(mm/dak)	Kesme Derinliği(mm)	KARBUR (Ra,(µm)) Ortalama
1	KARBÜR	3000	160	0.24	1.5	0.69
2	KARBÜR	3000	120	0.16	1.0	0.60
3	KARBÜR	3000	80	0.08	0.5	0.47
4	KARBÜR	6000	160	0.24	1.5	0.45
5	KARBÜR	6000	120	0.16	1.0	0.59
6	KARBÜR	6000	80	0.08	0.5	0.70
7	KARBÜR	9000	150	0.24	1.5	0.62
8	KARBÜR	9000	120	0.16	1.0	0.57
9	KARBÜR	9000	80	0.08	0.5	0.70



Şekil 3.1 - Karbür kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 3.2 - Karbür kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği

3.1.2. EXT-CrN Kaplamalı Freze Kesici Ucun İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü

Deneysel çalışmada EXT-CrN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler Tablo 3.5 'de gösterilmiştir.

Deneysel çalışmada EXT-CrN kaplamalı kesici uçlar ile farklı parametrelerde yapılan işlemler için yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçme işlemi 9 farklı yüzeyde gerçekleştirilmiş ve her bir yüzey için 5 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Ölçme

işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5 - Deneysel çalışmada EXT-CrN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler

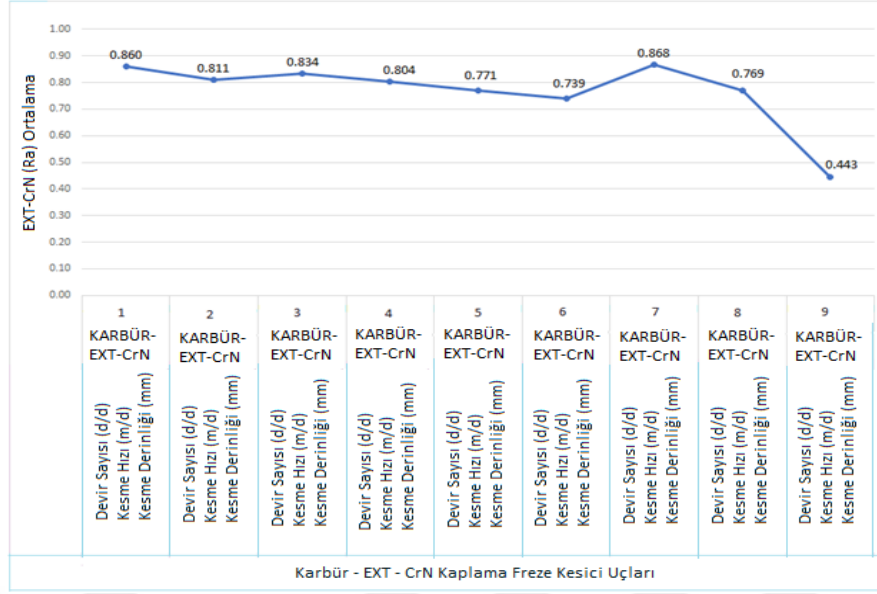
Deney No	Kullanılan Kesici Takm.	Devir Sayısı(dev/dak)	Kesme Hızı(m/dak)	Kesme Derinliği(mm)	İlerleme Hızı(mm/dak)
1	KARBÜR -EXT-CrN	1	1	1	3
2	KARBÜR -EXT-CrN	1	2	2	2
3	KARBÜR -EXT-CrN	1	3	3	1
4	KARBÜR -EXT-CrN	2	1	2	2
5	KARBÜR -EXT-CrN	2	2	3	3
6	KARBÜR -EXT-CrN	2	3	1	1
7	KARBÜR -EXT-CrN	3	1	3	1
8	KARBÜR -EXT-CrN	3	2	2	3
9	KARBÜR -EXT-CrN	3	3	1	2

Tablo 3.6 – EXT-CrN kaplamalı uçların işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri

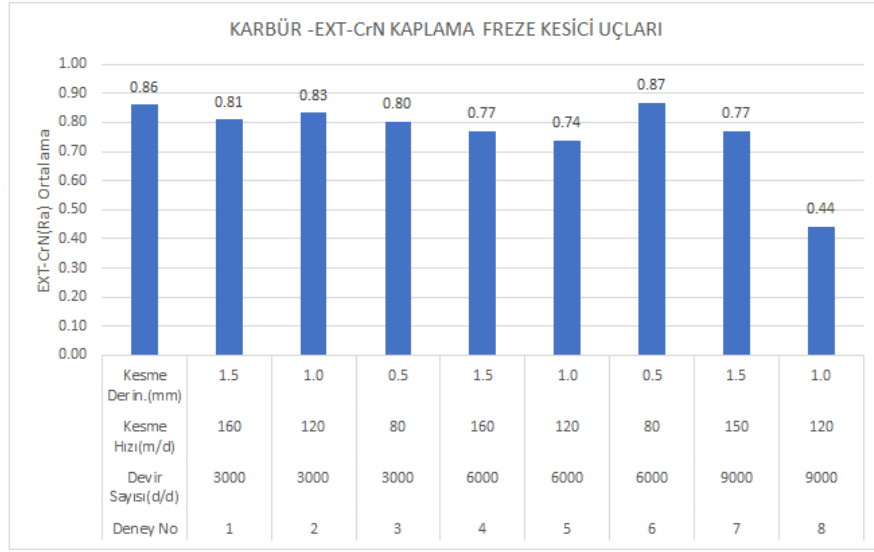
DENEY NO	1. Nokta (µm)	2. Nokta (µm)	3. Nokta (µm)	4. Nokta (µm)	5. Nokta (µm)	Ortalama Ra (µm)
1	0,708	0,816	0,911	0,945	0,921	0,8602
2	0,678	0,728	0,773	0,876	0,998	0,8106
3	0,814	0,718	0,886	0,807	0,944	0,8338
4	0,761	0,786	0,727	0,828	0,918	0,804
5	0,897	0,321	0,871	0,981	0,787	0,7714
6	0,822	0,891	0,397	0,812	0,774	0,7392
7	0,871	0,816	0,886	0,817	0,951	0,8682
8	0,838	0,876	0,612	0,607	0,913	0,7692
9	0,312	0,527	0,386	0,494	0,498	0,4434

Tablo 3.7 – EXT-CrN kaplamalı kesici uçların kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri

Deney No	KARBÜR -EXT-CrN	Devir Sayısı (dev/dak)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Kesme Derinliği (mm)	EXT-CrN (Ra,(µm)) Ortalama
1	KARBÜR -EXT-CrN	3000	160	0.24	1.5	0.86
2	KARBÜR -EXT-CrN	3000	120	0.16	1.0	0.81
3	KARBÜR -EXT-CrN	3000	80	0.08	0.5	0.83
4	KARBÜR -EXT-CrN	6000	160	0.24	1.5	0.80
5	KARBÜR -EXT-CrN	6000	120	0.16	1.0	0.77
6	KARBÜR -EXT-CrN	6000	80	0.08	0.5	0.74
7	KARBÜR -EXT-CrN	9000	150	0.24	1.5	0.87
8	KARBÜR -EXT-CrN	9000	120	0.16	1.0	0.77
9	KARBÜR -EXT-CrN	9000	80	0.08	0.5	0.44



Şekil 3.3 - EXT-CrN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 3.4 - EXT-CrN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği

3.1.3. TiSiN Kaplamalı Freze Kesici Ucun İşlediği Yüzeyin Pürüzlülük Ölçümü

Deneysel çalışmada TiSiN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler Tablo 3.8 'de gösterilmiştir.

Deneysel çalışmada TiSiN kaplamalı kesici uçlar ile farklı parametrelerde yapılan işlemler için yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçme işlemi 9 farklı yüzeyden

gerçekleştirilmiş ve her bir yüzey için 5 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Ölçme işlemleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3.9 ve Tablo 3.10 'da gösterilmiştir.

Tablo 3.8 - Deneysel çalışmada TiSiN kaplamalı kesici takımlar için kullanılan değişken parametreler

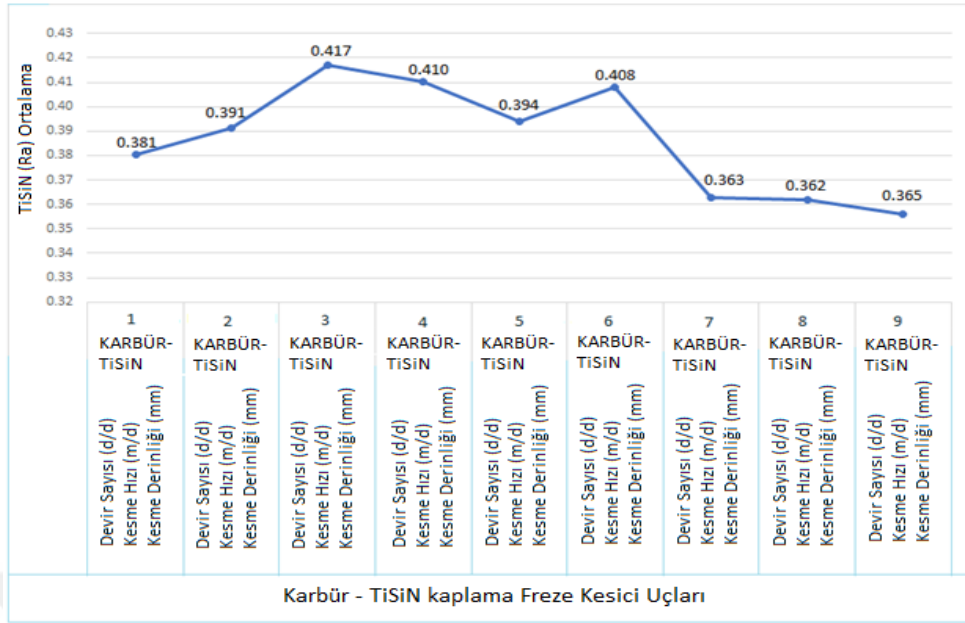
Deney No	Kullanılan Kesici Takm.	Devir Sayısı (dev/dak)	Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Hızı (mm/dak)
1	KARBÜR TiSiN	1	1	1	3
2	KARBÜR TiSiN	1	2	2	2
3	KARBÜR TiSiN	1	3	3	1
4	KARBÜR TiSiN	2	1	2	2
5	KARBÜR TiSiN	2	2	3	3
6	KARBÜR TiSiN	2	3	1	1
7	KARBÜR TiSiN	3	1	3	1
8	KARBÜR TiSiN	3	2	2	3
9	KARBÜR TiSiN	3	3	1	2

Tablo 3.9 – TiSiN kaplamalı uçların işlediği yüzeyin pürüzlülük değerleri

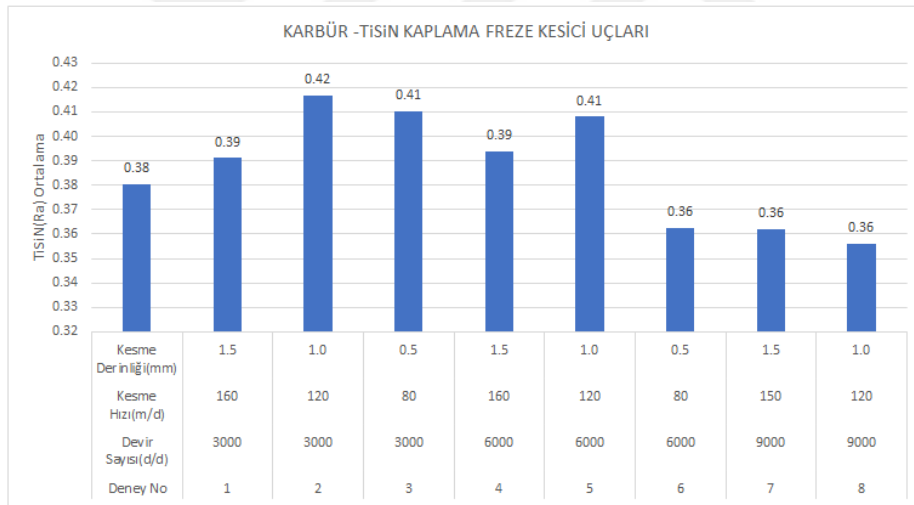
DENEY NO	1. Nokta (µm)	2.Nokta (µm)	3. Nokta (µm)	4. Nokta (µm)	5.Nokta (µm)	Ortalama Ra (µm)
1	0,262	0,391	0,388	0,446	0,416	0,3806
2	0,402	0,467	0,291	0,315	0,481	0,3912
3	0,477	0,312	0,425	0,396	0,474	0,4168
4	0,458	0,477	0,396	0,378	0,342	0,4102
5	0,404	0,416	0,429	0,344	0,376	0,3938
6	0,433	0,423	0,404	0,416	0,364	0,408
7	0,377	0,391	0,302	0,401	0,342	0,3626
8	0,302	0,318	0,446	0,428	0,316	0,362
9	0,408	0,304	0,378	0,373	0,318	0,3562

Tablo 3.10 – TiSiN kaplamalı kesici uçların kesme işlemi için kullanılan değişken kesme parametreleri

Deney No	KARBÜR -TiSiN	Devir Sayısı (dev/dak)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)	Kesme Derinliği(mm)	TiSiN (Ra,(µm)) Ortalama
1	KARBÜR -TiSiN	3000	160	0.24	1.5	0.38
2	KARBÜR -TiSiN	3000	120	0.16	1.0	0.39
3	KARBÜR -TiSiN	3000	80	0.08	0.5	0.42
4	KARBÜR -TiSiN	6000	160	0.24	1.5	0.41
5	KARBÜR -TiSiN	6000	120	0.16	1.0	0.39
6	KARBÜR -TiSiN	6000	80	0.08	0.5	0.41
7	KARBÜR -TiSiN	9000	150	0.24	1.5	0.36
8	KARBÜR -TiSiN	9000	120	0.16	1.0	0.36
9	KARBÜR -TiSiN	9000	80	0.08	0.5	0.36



Şekil 3.5 - TiSiN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 3.6 - TiSiN kaplamalı kesici ucun işleme yaptığı yüzey pürüzlülük grafiği

3.2. Metalurjik Mikroskop Analizleri

Freze kesici uçlarda işleme sonucu oluşan aşınmalar; her bir işlem sonrası incelenmiş olup, bilgisayar vasıtasıyla aşınma görüntüleri elde edilmiştir. Aşınan, kırılan veya hasar görmüş yüzeyleri ve kesici uç kaplamasının aşınmasını detaylı incelemek için Olympus SC30/BX41M led mikro-elektronik muayene mikroskobu kullanılmıştır. Bu mikroskop

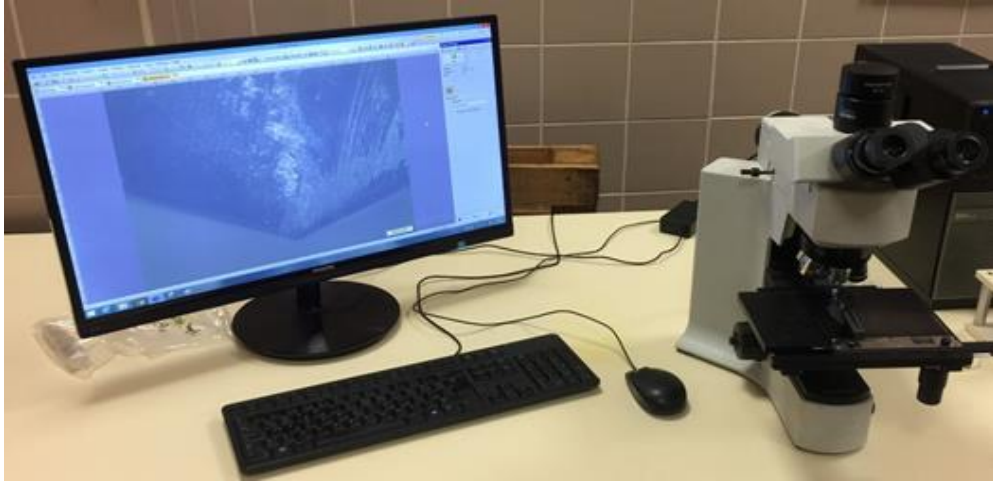
aydınlatıcı olarak yansımali ışık, 3W beyaz led için dâhili güç kaynağı, ışık ayar anahtarı özelliklerine sahiptir.

Olympus SC30/BX41M led mikroskop ile karanlık alan, aydınlık alan, diferansiyel interferans kontrast ve polarize ışık kontrastı ile görüntüleme seçenekleri sayesinde numunelerin mikroyapısı görüntülenerek malzemede oluşan aşınmalar incelenmiştir. Şekil 3.7 ‘de kullanılan mikroskobun fotoğrafı bulunmaktadır.

Deneyisel çalışmada, kesme işlemleri sonucu freze kesici uçlarda oluşan aşınmaları ölçmek için kullanılan Olympus SC30/BX41M led mikroskobunun teknik özellikleri Tablo 3.11 ‘de sunulmaktadır.

Tablo 3.11 - Aşınmaları görüntülemek için kullanılan Olympus SC30/BX41M led mikroskobunun teknik özellikleri

Büyütme	5x, 10x, 20x, 50x ve 100x
Çalışma / Ölçme Uzunluğu	200 μm , 100 μm , 50 μm , 20 μm ve 1 μm
Koaksiyal Eksen (sağ-sol)	X : 76 (mm) ve Y : 52 (mm)



Şekil 3.7 - Metalurjik mikroskopta kesici uçların aşınma yapısının incelenmesi

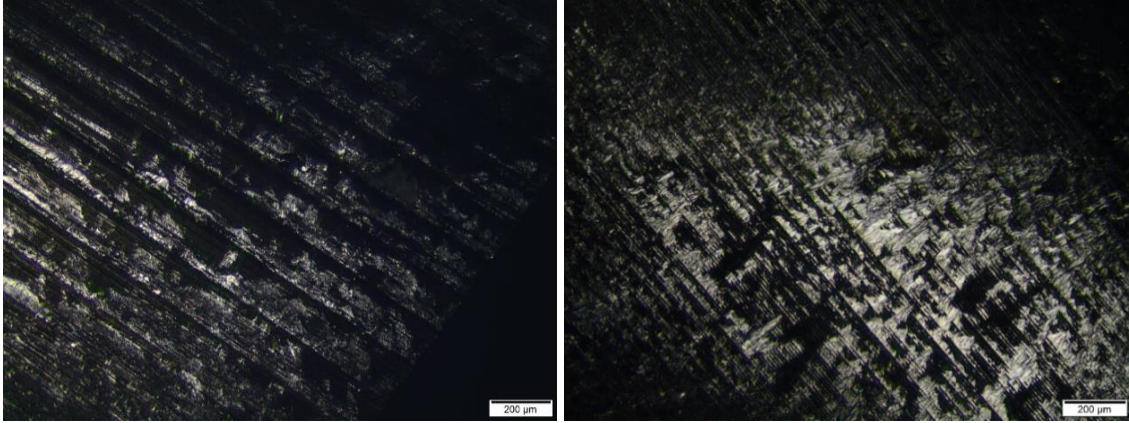
Belirlenen koşullar altında, freze kesici uçlar ile herbir deneysel parça için düzlem yüzey oluşturulmuştur ve bunun sonucunda kesici uçlarda oluşan aşınma görüntüleri 5k

büyütme ile 200 µm yaklaşıma yapılarak her bir kesici uç için incelenmiştir. Deneysel uygulama belirlenen şartlarda gerçekleştirdikten sonra, aşınma yapıları incelenen kullanılmış freze kesici uçlarından olan karbür kesicilerde kırılma olgusu kısmen oluşmuştur, EXT-CrN kaplamalı kesici uçlarda aşınmaların meydana geldiği görülmüştür. TiSiN kaplamalı kesici uçların ise en dayanıklı uçlar olduğu görülmüştür. Takım ömürlerinin bu işlem için oldukça verimli olduğu söylenebilir.

3.2.1. Karbür Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri

Kesici kenarda ve yüzeyde aşınmalar oluşmuştur. Şekil 3.8 'de gösterilen karbür kesici uçta, krater aşınması ve kenar aşınması formları görülmüştür. Karbür uç yüzeyinde sıyrılması yüksek oranda aşınma olduğu saptanmıştır. Yüksek ilerleme hızlarının, takım uç kısmında aşınma izlerine ve sıyrıklarına neden olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 (a),(b),(c),(d),(e) görüntüleri aynı takımın farklı uçlarıdır ve bu uçlardan çok sayıda görüntü alınmıştır. Alınan görüntülerden her bir uç için birer tane bu bölümde yer verilmiştir. Görüntülerde görüldüğü üzere; farklı kesici uç bölgesinde oluşan aşınma sıyrıkları ve çizikler, takımın malzemeye giriş yapmasında kullanılan yüksek ilerleme hızlarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 (a),(b),(c),(d),(e) 'de kesici uçların aşınma biçimi gösterilmiştir.

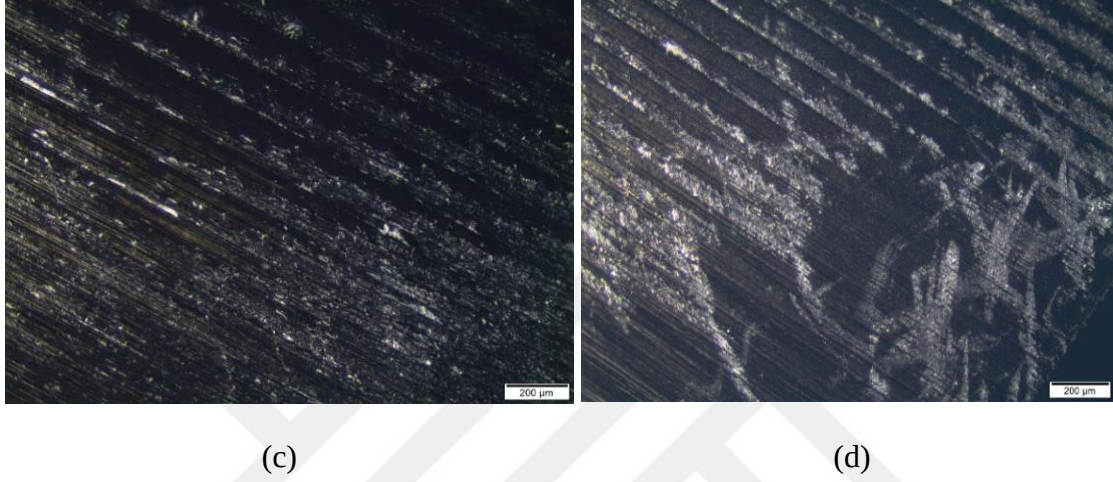


(a)

(b)

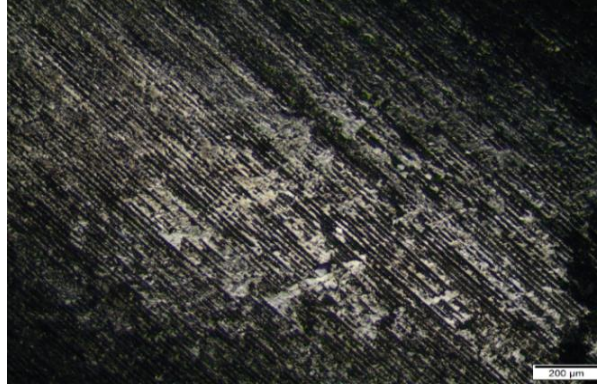
Şekil 3.8 - Karbür kesici ucun aşınma görüntüleri (a), (b)

Malzemelerin işlenmesinde veya şekillendirilmesinde karbür kesici uçların kullanılmasının en büyük avantajı yapışmaya karşı dirençli özellik sergilemesidir. DIN 1.3247 çeliğinin işlenmesi esnasında takıma sıvanma sorunu olmamıştır. Kesme parametreleri değerlerinin her seviyesinde, yani en düşük ve en yüksek devir sayısı ve ilerleme hızında aynı şekilde olduğu saptanmıştır. Şekilde; aşınmanın olduğu yüzeyde aşınma izlerinin yoğun bir şekilde meydana geldiği açık bir şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9 – Karbür kesici ucun aşınma görüntüleri (c), (d)

Aşınmalar incelenirken, takımın uç kısmından elde edilen görüntüler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 (c),(d) ve (e) 'de verilmiştir. Kesme işleminde yüzeyden uç kısma doğru aşınma artmıştır. Bu durum yüksek devir sayısı ve ilerleme hızının kullanılması akabinde gerçekleşmiş olup, alınan mikroskop görüntüleri ucun hiçbir kesme koşulu altında çatlama eğiliminde olmadığını göstermiştir. Ancak yüzeyde çok azda olsa küçük kırılmalar gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Aşınma izleri ve aşınma sıyrıkları oluşmuştur.



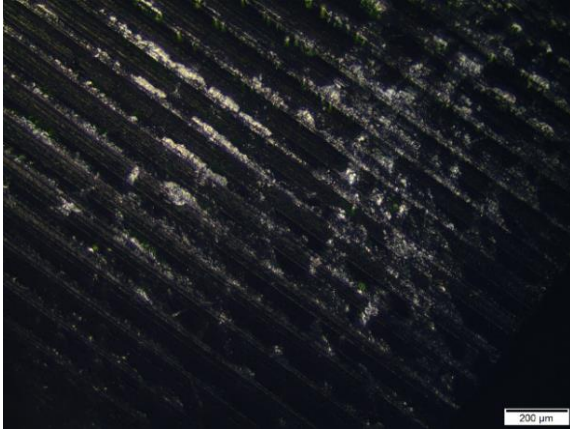
(e)

Şekil 3.10 – Karbür kesici ucun aşınma görüntüsü (e)

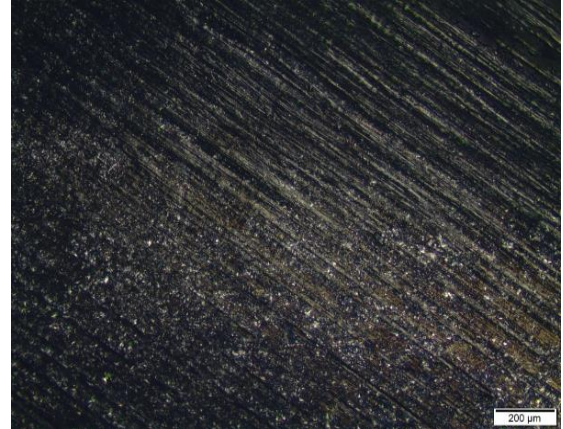
3.2.2. EXT-CrN Kaplamalı Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri

EXT-CrN kaplamalı kesici uçların aşınma görüntüleri incelendiğinde krater aşınması ve kenar aşınması formları az miktarda görülmüştür. EXT-CrN kaplamanın uç yüzeyinde sıyrılması yüksek oranda aşınma olduğu saptanmıştır. Yüksek ilerleme hızlarının, takım uç kısmında aşınma izlerine ve sıyrıklarına neden olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 3.11 ‘de belirtilen kesici uç bölgesinde oluşan aşınma sıyrıkları ve çizikler, takımın malzemeye giriş yapmasında kullanılan yüksek devir sayısı ve yüksek ilerleme hızlarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Kaplama aşınmasının yanı sıra kesici ucun iç bölgelerine doğru yüzeysel aşınmalar olduğu görülmüştür. Şekil 3.12 ‘de EXT-CrN kesici ucun alın bölgesinde olan aşınma biçimi gösterilmiştir.



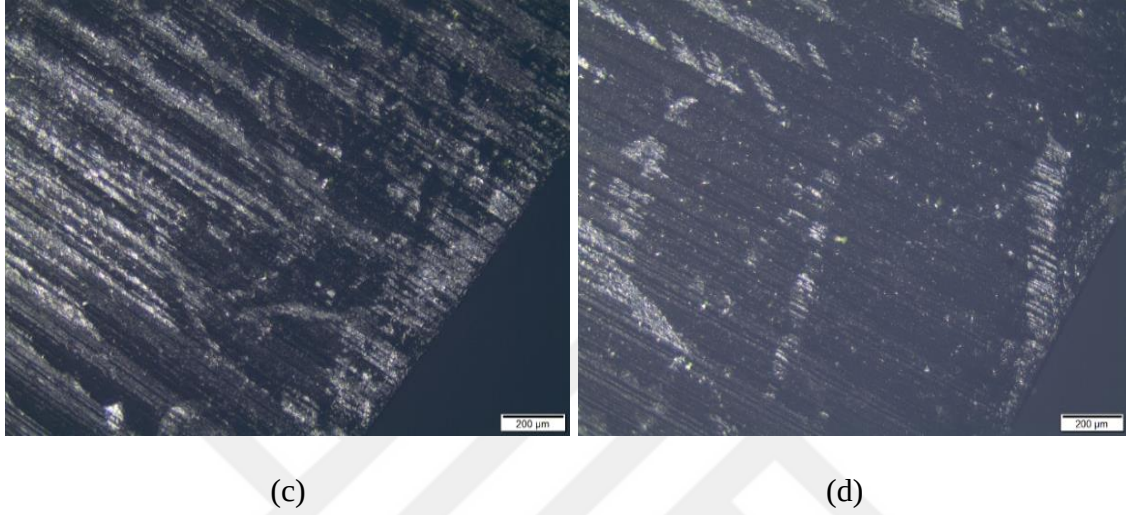
(a)



(b)

Şekil 3.11 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (a), (b)

Takımın farklı kısımlarının incelenmesi sonucu, EXT-CrN kaplamanın hem Şekil 3.11 (a),(b) 'de belirtilen kesici uç bölgesinde hem de Şekil 3.12 (d),(e) 'de gösterilen keskin kenara doğru oluşan aşınmalar dışında, sürtünme kaynaklı abrasif aşınma sonucunda beliren kesme kenarı yüzeyinde az oranda gerçekleşmiş serbest yüzey aşınması görülmüştür.



Şekil 3.12 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (c), (d)

Şekil 3.12 'de verilen kesici ucun yüzey görüntüsüne bakıldığında krater aşınma tipinin oluşmadığı anlaşılmaktadır. EXT-CrN kaplamanın yüzeyden aşındığı ve yüksek kesme koşullarından kaynaklı yüzeysel aşınmaların bazı bölgelerde daha çok olduğu gözlemlenmiştir. Kesici uç bölgesinde aşınma izleri mevcuttur ve takımın kesici yüzeyinde aşınma izleri oluşmuştur.

Şekil 3.13 (e) 'de gösterildiği üzere takımda işlem sonunda serbest yüzey aşınması oluşmuş ve az miktarda krater aşınması gözlemlenmiştir. EXT-CrN kaplamanın koruma yapması ile aşınmasından başka ciddi zararlara neden olacak bir aşınma mekanizması ve tipi oluşmamıştır.



(e)

Şekil 3.13 - EXT- CrN kaplamalı ucun aşınma görüntüsü (e)

Şekil 3.13 (e) 'de gösterilen kesici ucun ağız bölümünde kaplamanın yüzeyden ayrılmasının yanında abrasif aşınma etkisiyle yüzeysel aşınmalar ortaya çıkmıştır. Şekilde takım ucunun kesici kısmı gösterilmiş olup, takımdan malzeme kopması oluşmamıştır. Kaplamanın daha çok kesici yüzey üzerinde takım yüzeyinden soyulduğu anlaşılmıştır.

EXT-CrN kaplama iyi ısı iletimi sayesinde, ısıyı talaşa aktararak oluşabilecek büyük aşınmaları engellemiştir. Şekilde gösterilen kesici kenar yapısında, takımdan malzeme kopması gibi işleme sonrası oluşacak, yüzey pürüzlülüğünü etkileyecek hasar bu uç için oluşmamıştır. Abrasif aşınma etkisiyle oluşabilecek olağan dışı yüzeysel aşınma izleri görülmemiştir.

DIN 1.3247 çeliğini kesme işlemlerinde malzeme yapısından dolayı takım kesme ucuna kaynak oluşturma işlemi içerisinde olabilir, fakat EXT-CrN kaplamanın kimyasal tepkimeye karşı kararlı yapısı sayesinde bunun önüne geçmiş olduğu verilen mikroskop görüntülerinden anlaşılmaktadır. Kesici ucun kaplanmasında kullanılan EXT-CrN, kaplama yapısı sayesinde kenar aşınmasına karşı direnç göstermesi sonucu oluşabilecek aşınmanın engellendiği anlaşılmıştır.

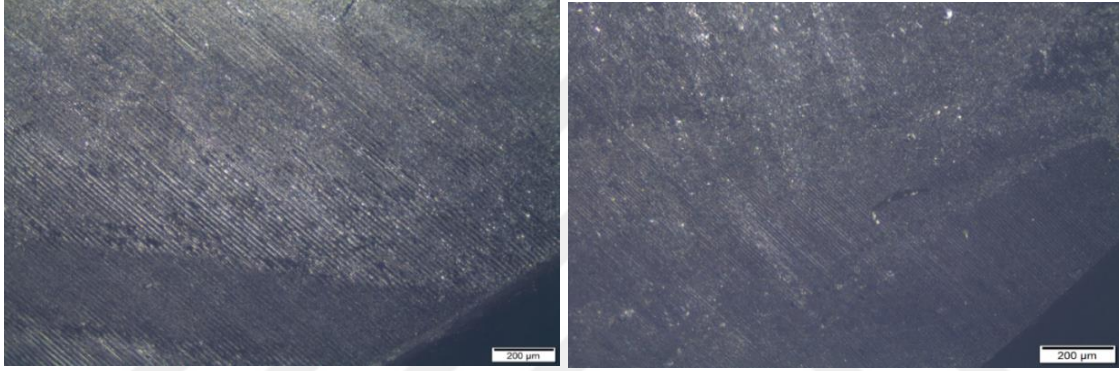
3.2.3. TiSiN Kaplamalı Kesici Uçların Aşınma Görüntüleri

Kullanılan devir sayıları ile alakalı olan kesme hızlarının yüksek değerlerine rağmen Şekil 3.14 'de aşınma görüntüleri incelendiğinde takım uç kısmında kaplama aşınması oluşmamıştır. Kesici ucun iç bölgesinde ya da yüzey yapısında TiSiN kaplamanın

yüzeyi terk ettiği kısımlar ve krater aşınması gibi takım ömrüne olumsuz etki edebilecek sorunlar açığa çıkmamıştır.

TiSiN kaplamanın yapısı aşınmaya karşı direnç oluşturmasını sağlayarak, yüksek kesme koşullarında bile aşınma etkisinin az olmasına imkân vermiştir. Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 (a),(b),(c),(d),(e) 'de mikroskop görüntüleri olan kesici uçta abrasif aşınma tipinin kritik oranda olmadığı görülmüştür.

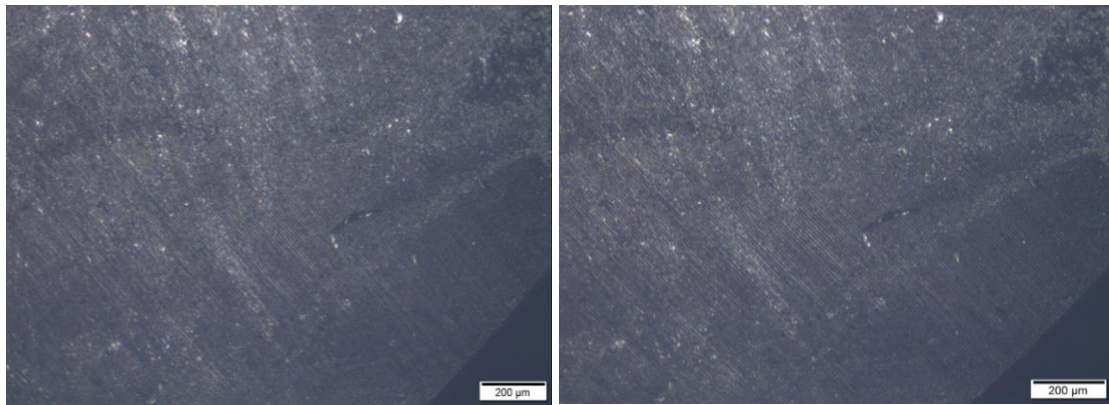
TiSiN kaplamalı uçta oluşan aşınmalar incelendiğinde kesme ağız bölgesinde aşınma oluşmamıştır. Kesici yüzey tüm işlemlerde uygun şekildedir. Kesme ağız bölgesi düzgündür.



(a)

(b)

Şekil 3.14 - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (a), (b)

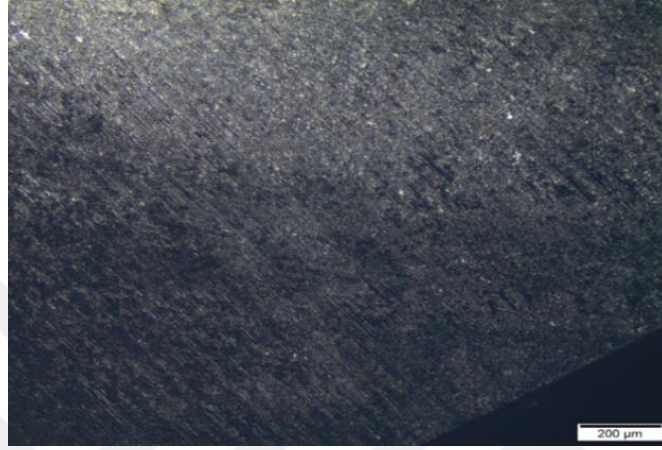


(c)

(d)

Şekil 3.15 - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüleri (c), (d)

Abrasif aşınma mekanizmasının sonucu olarak meydana gelen serbest yüzey aşınması bu uç için oluşmamıştır. Yüksek devir sayısı, yüksek ilerleme ve kesme hızlarında çalışma olanağı vermesi, difüzyon aşınma tipinin sonucunda ortaya çıkabilecek aşınmalardan ve oyuk aşınmasından takımı koruduğu anlaşılmıştır. Kesici kenar ve kesici yüzeylerin çalışma şartlarında başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.



(e)

Şekil 3.16 - KARBÜR - TiSiN kaplamalı ucun aşınma görüntüsü (e)

Kesici uçların farklı noktalarından alınan görüntülerden anlaşılabacağı üzere, kesici uç aşınması oluşmamıştır. Kesici takımında kenar aşınması oluşmamasının olumlu yanı, yüksek oranda oluşan kenar aşınmasının düzgün olmayan yüzey pürüzlülüğüne neden olmasıdır. Ancak TiSiN kaplamalı uç, kesme işlemini iyi yüzey pürüzlülük değerleriyle tamamlamıştır.

3.3. Optimizasyon ve Analiz Tekniği

Gerçekleştirilen deney çalışmasının sonucu olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerleri, kesme parametre değerleri ve deney faktörlerinin, deney tasarım metoduyla performansının optimizasyonu yapılmış ve regresyon analizi için Minitab-18.2 analiz programı kullanılmıştır. Elde edilen analiz program çıktıları şekil, tablo ve grafik olarak bu bölümde verilmiştir. Belirlenen bütün deney şartlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Deney uygulamaları bağımlı ve bağımsız değişkenler kullanılarak belirli bir sistem içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada bağımsız değişkenler olarak; devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme talaş derinliği, bağımlı değişken olarak; devir sayısı ve

kesme derinliğiyle değişkenlik gösteren yüzey pürüzlülük ve aşınma değereleri olmaktadır.

Deney şartları Taguchi L27 orthogonal düzlemine uygun olarak tasarlanmış ve sonuçlar yüzey pürüzlülük değerleri olarak belirtilmiştir. Bütün bunların incelenmesinde çıktı olarak sinyal/gürültü (S/N) oranı dikkate alınmıştır. Taguchi yöntemi, optimizasyon sorunlarına yol bulma konusunda oldukça başarılı bir usul olarak görülmektedir. Taguchi yöntemi, sorunlara karşı çıkış yolu bulmada yalnızca en az sayıda deney yapılmasına olanak sağlamakla kalmayıp, yüksek nitelikte üretim ve ürün geliştirilmesine her yönden katkı sağlar. Talaşlı imalat işlemlerinde kesme şartlarının optimizasyonu sayesinde üretim maliyeti azaltılarak verim ve nitelik artışının elde edilmesi oldukça dikkate değerdir. Deney uygulamaları için Taguchi metoduna başvurulması sonucunda fazladan yapılacak deney miktarının önüne geçilerek vakit açısından ve ekonomik açıdan avantaj sağlanmaktadır.

3.3.1. Optimizasyon Metodunun Uygulanması

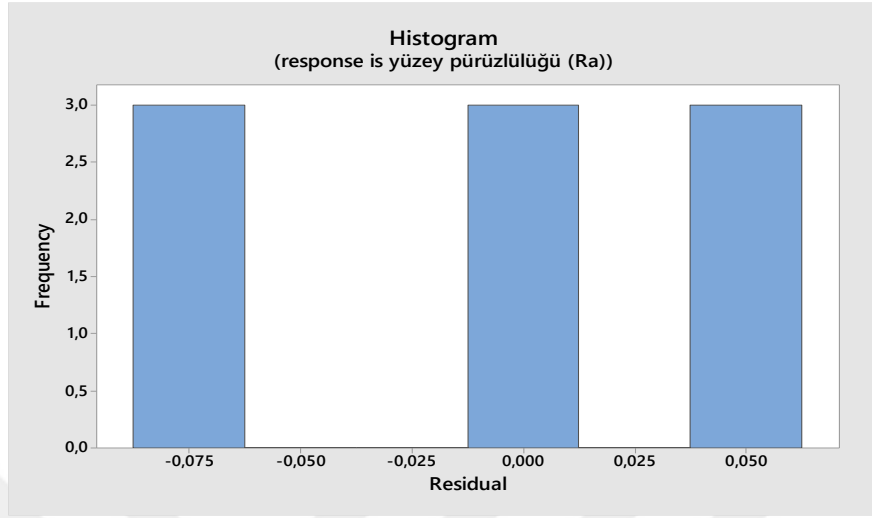
L27 ortogonal sisteme uyacak şekilde tasarlanan girdiler; kesici uç tipi, kesici uç malzemesi, devir sayısı, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı olarak belirtilmiştir. Kesici uç olarak;

1. Karbür kesici uçlar,
2. EXT-CrN kaplamalı kesici uçlar ve
3. TiSiN kaplamalı kesici uçlar kullanılmıştır.

Bu faktörler baz alınarak uygulanan optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen şekillerden; SN oranlarına göre ana etki grafiğinin en yüksek değerleri en elverişli değerleri gösterirken, araçlara göre ana etki grafiğinin en düşük değerleri en optimal değerleri göstermektedir.

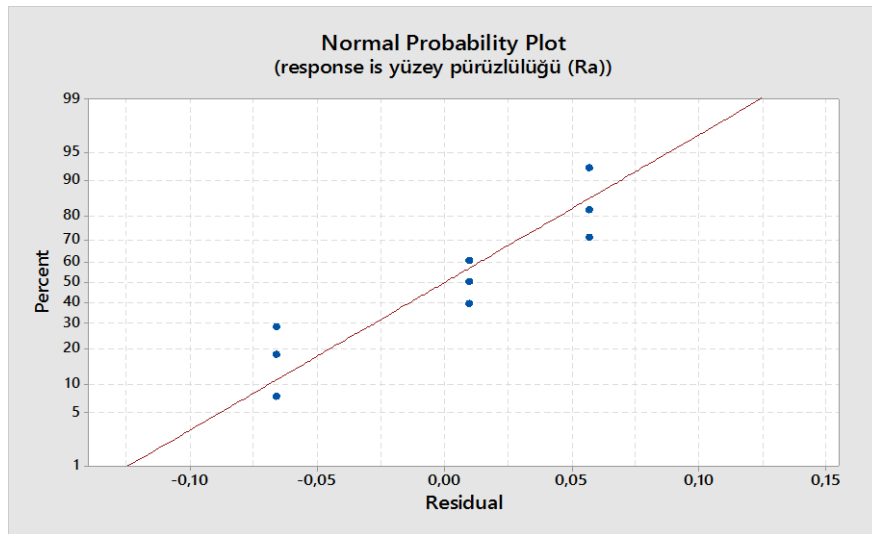
L27 dizilimine uyum sağlayacak şekilde bütün deney değişkenleri ve çıktı olarak yüzey pürüzlülük değerleri program ara yüz ekranına girilerek analiz yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerinin minimum olduğu sayısal veri, en elverişli değer olarak kabul edilmiştir.

Şekil 3.17 'de gösterilen histogram dağılımına ait grafik cevap ya da çıktı olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin sıklık ve olasılık dağılımını belirtmektedir.



Şekil 3.17 - Histogram dağılımına göre sıklık derecesi

Şekil 3.18 'de gösterilen normal olasılık uygulamasına ait grafik deneysel çalışmada cevap ya da çıktı olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin normal olasılık dağılımını belirtmektedir. Grafikte çalışmanın düzenli ve işleme parametrelerinin uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 3.18 - Normal olasılık grafiği

3.3.2. Regresyon Analiz Yöntemi

Bu çalışma için başvuru regresyon analizi; bağımsız değişkenlerin, deney çıktısı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde nasıl bir etki sağladığını göstermek amacıyla yapılan bir inceleme olarak sunulmaktadır. Deney için belirlenen devir sayısı, ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği parametreleriyle beraber iş parçası üzerinde yapılan yüzey frezeleme işleminde 27 yüzey için pürüzlülük değerleri kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır.

Kesici uç tipinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu anlaşılmış olup bunu devir sayısı ve talaş derinliği takip etmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en az tesir eden öge ilerleme hızı değişkenidir.

3.3.3. Taguchi Analizi: Karbür, EXT-CRN, TiSiN

Yapılan deneysel çalışma için Taguchi 18.2 optimizasyon programı kullanılarak Ortogonal Dizi Tasarımı yapıldı. Tasarımda

L27 (3^3)

Faktörler: 3

Dizin Çalıştırmalar: 9

L27 (3^4) Dizisinin Sütunları; 1 2 3 olarak ele alındı.

Smaller is better

	DEVİR	KESME	İLERLEME	KESME
Level	SAYISI (r/d)	HIZI (m/d)	HIZI	DERİNLİĞİ (mm)
1	4,553	4,782	5,485	5,381
2	2,451	5,000	5,000	5,043
3	8,263	5,485	4,782	4,843
Delta	5,813	0,702	0,702	0,538
Rank	1	2,5	2,5	4

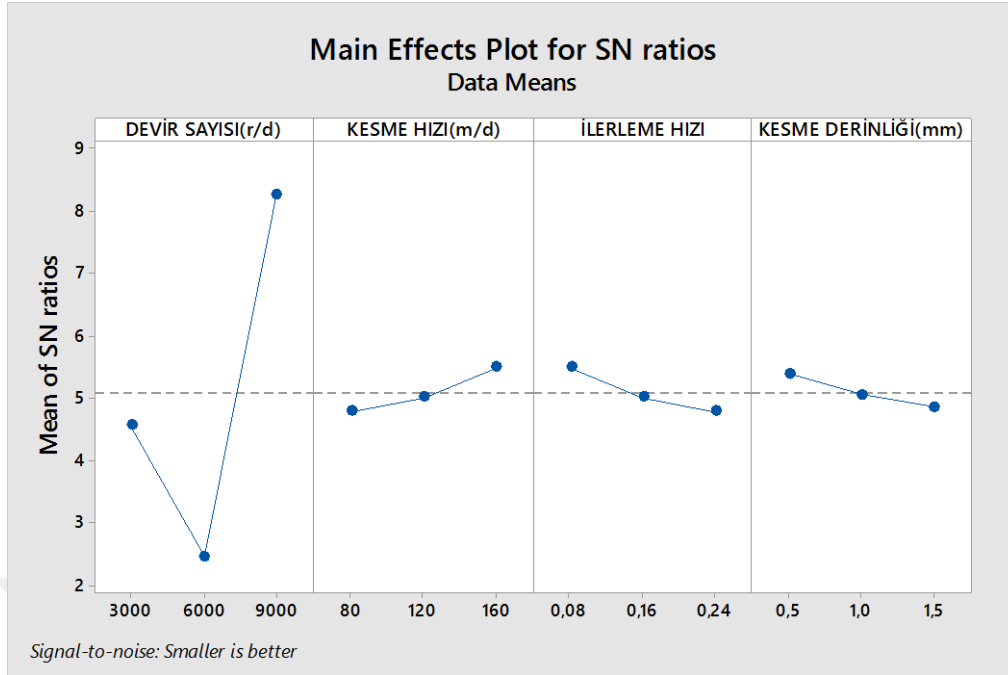
Response Table for Means

	DEVİR	KESME	İLERLEME	KESME
Level	SAYISI (r/d)	HIZI (m/d)	HIZI	DERİNLİĞİ (mm)
1	0,5984	0,6061	0,5608	0,5624
2	0,7667	0,5850	0,5850	0,5838
3	0,3868	0,5608	0,6061	0,6057
Delta	0,3798	0,0453	0,0453	0,0432
Rank	1	2,5	2,5	4

Response Table for Standard Deviations

	DEVİR	KESME	İLERLEME	KESME
Level	SAYISI (r/d)	HIZI (m/d)	HIZI	DERİNLİĞİ (mm)
1	*	*	*	*
2	*	*	*	*
3	*	*	*	*
Delta	*	*	*	*
Rank	2,5	2,5	2,5	2,5

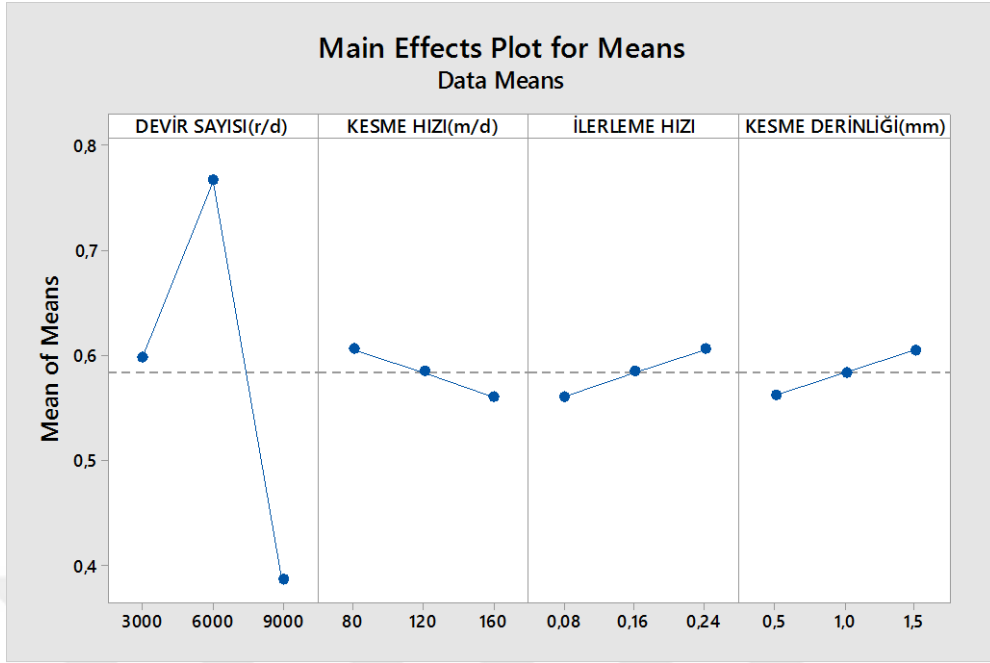
Şekil 3.19 de gösterilen SN Ratios grafiği cevap ya da çıktı olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme işlemlerinde freze uçlarında oluşan ana etki durumunu göstermektedir. Çalışmada, grafikte görüldüğü üzere optimal değer devir sayısı için 9000 dev/dak, kesme hızı için 160 m/dak, ilerleme hızı için 0,08 mm/d, kesme derinliği için ise 0,5 mm olduğu görülmüştür.



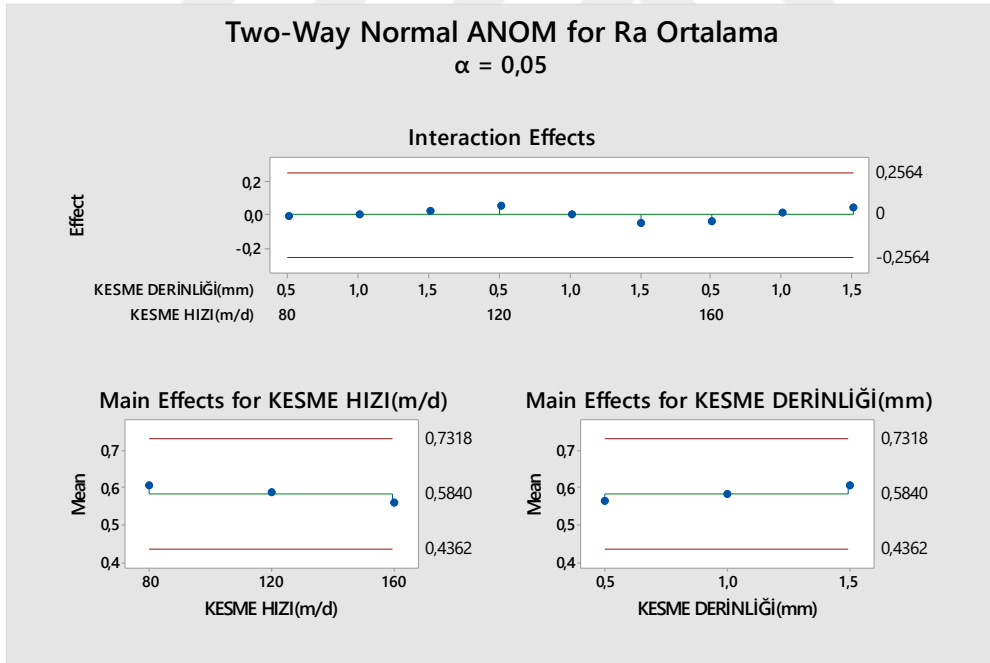
Şekil 3.19 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçlarında oluşan SN oranı için ana etki grafiği

Taguchi optimizasyon tekniğinde araçlar için ana etki grafiği ile elde edilen en küçük değer en iyi değerdir. Bu işlem doğrultusunda Şekil 3.20 ‘de gösterilen Main Effect grafik cevap ya da çıktı olarak kabul edilen yüzey pürüzlülük değerleri için önemli bir sonuç grafiğidir. Kesme işlemlerinde freze uçlarında oluşan ana etki durumunu göstermektedir.

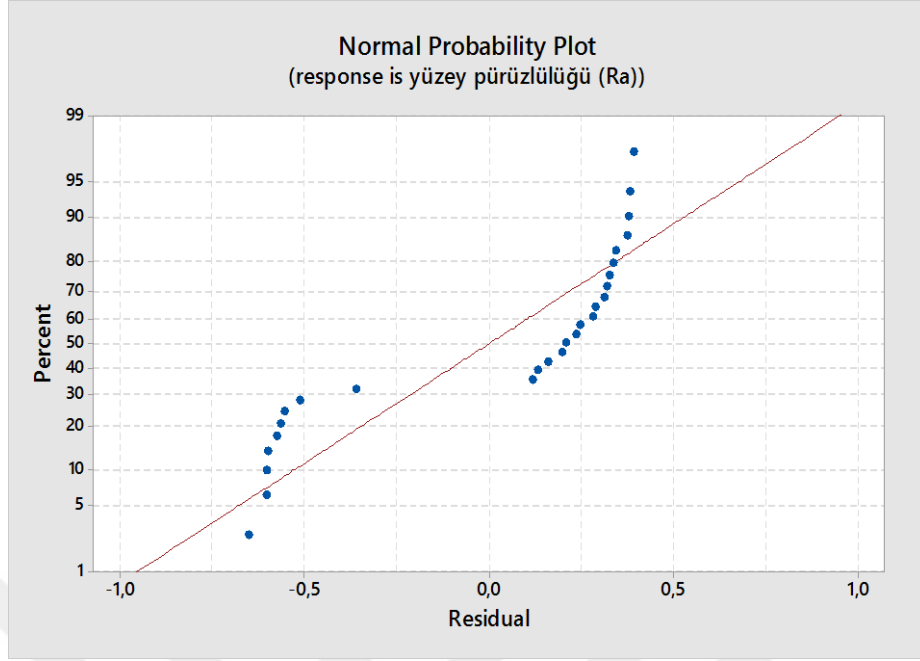
Grafikte görüldüğü üzere optimal değer; devir sayısı için 9000 dev/dak, kesme hızı için 160 m/dak, ilerleme hızı için 0,08 mm/dak, kesme derinliği için 0,5 mm olduğu görülmüştür.



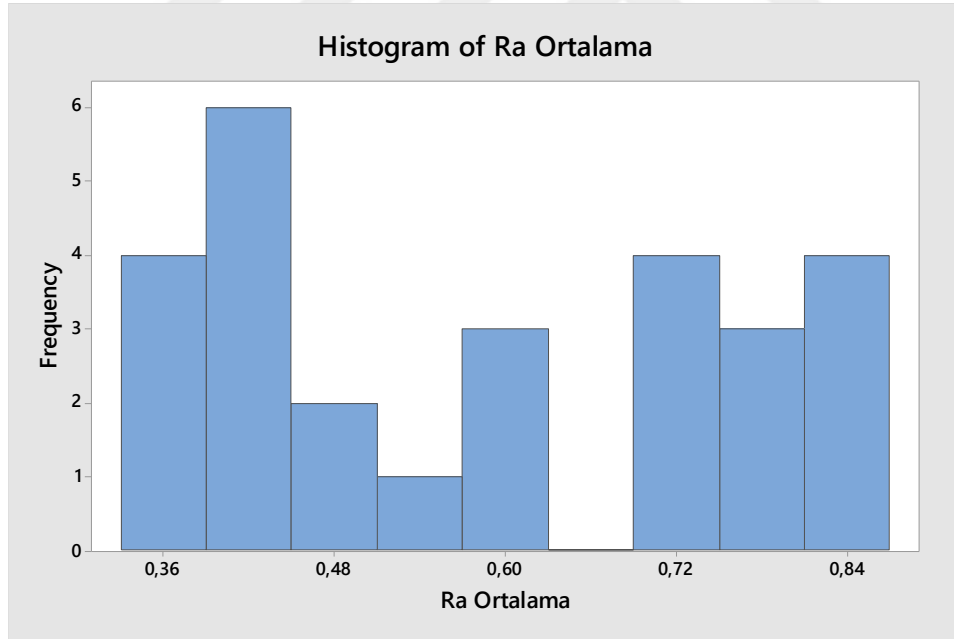
Şekil 3.20 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği



Şekil 3.21 - Deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği

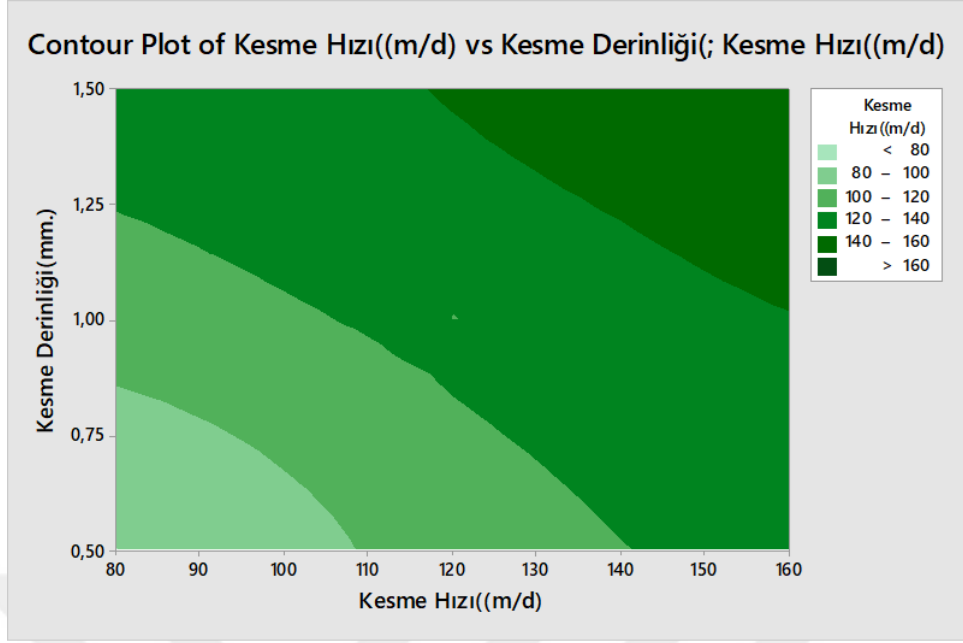


Şekil 3.22 - 27 Yüzey kullanılarak oluşturulmuş normal olasılık grafiği

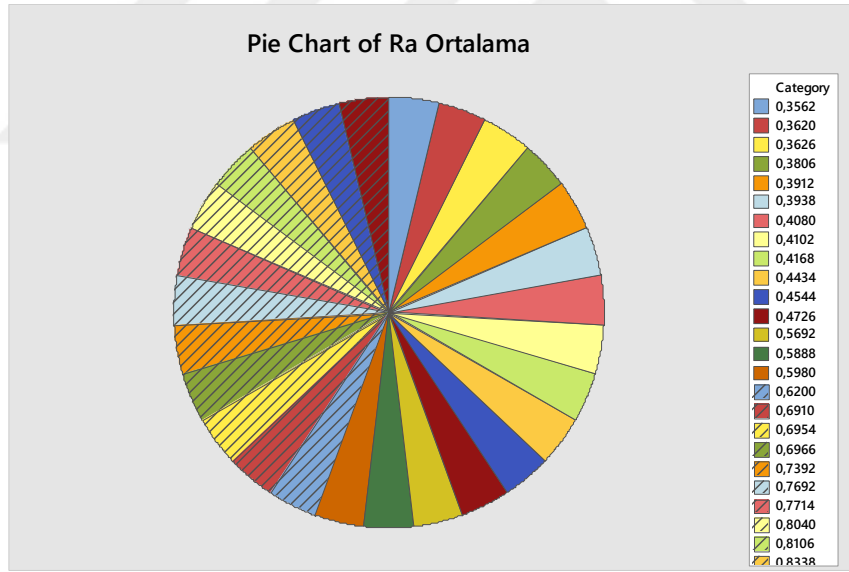


Şekil 3.23 - Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için oluşan histogram

Kesme derinliğine bağlı olarak düzenli bir ana etki grafiği elde edilmiştir. Şekil 1.24 ve Şekil 3.25 'de deneysel çalışmada kesme işlemlerinde freze uçları için oluşan ana etki grafiği gösterilmiştir.

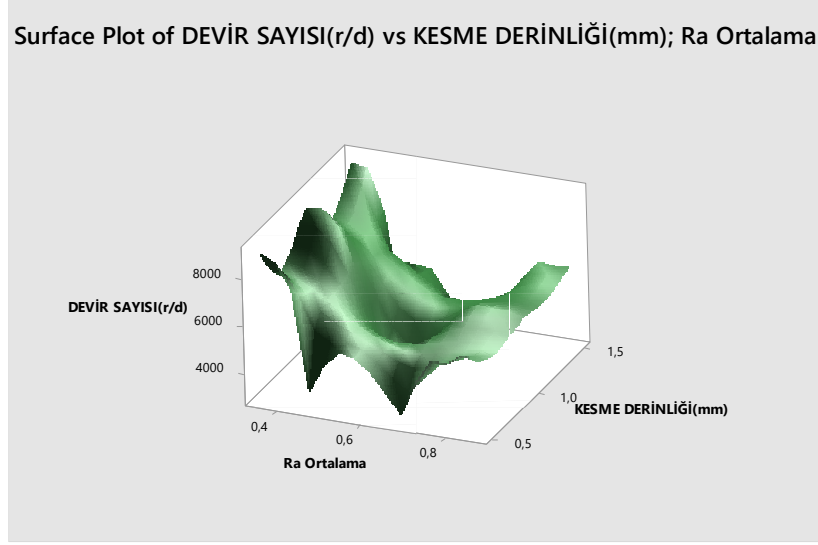


Şekil 3.24 - Deneysel çalışmada kullanılan kesme hızı ve kesme derinliği grafiği



Şekil 3.25 - Deneysel çalışmada işlenen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Deneysel çalışmada devir sayısına bağlı olarak freze uçlarında oluşan aşınmalar yüzey pürüzlülüğü üzerinde etki etmiştir. Şekil 3.26 'da devir sayısı ve kesme derinliğine bağlı olarak Ra ortalama dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.26 - Deneysel çalışmada ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin dağılım grafiği

Taguchi optimizasyon metodu ve regresyon analizi uygulanarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Taguchi analizi; devir sayısı (dev/dak), kesme hızı (m/dak), ilerleme hızı (mm/dak), kesme derinliği (mm) ve Ra ortalama değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. İşlem sonucunda elde edilen en küçük değerlerin en iyi değer olduğu dikkate alındığında; sinyal/gürültü oranları için etki tablosunda görüldüğü üzere kesme hızı:1, devir sayısı:3, kesme derinliği: 3 olan değerlerin optimal değerler olduğu görülmüştür. Ayrıca aşınma görüntüleri de incelendiğinde, TiSiN kaplamalı kesicilerin DIN 1.3247 çeliğini işlemede kullanılmasının daha uygun olduğu görülmüştür.

Literatür taramasından kazanılan bilgiler ışığında, DIN 1.3247 çeliklerinin başta otomobil sanayiinde ve birçok üretim uygulamalarında oldukça fazla tercih edildiği görülmüştür. Deney uygulaması için daha önceden belirtilen kesme parametre değerlerinde ve kesme sıvısı kullanarak DIN 1.3247 çelik malzeme CNC freze tezgahında işlenmiştir.

Deneysel uygulama için kesme koşullarının belirlenmesinde literatür ve üreticilerin tecrübelerinden yararlanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan deney verilerinin, uygunluk ve doğruluk açısından değerlendirilmesi yapılarak, değişkenlik gösteren etmenlerin etkisi görülmüştür. Bu çalışmadan alınan bütün veriler önceki

bölümlerde eklenmiş olup, bu bölümde oluşan sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Genel olarak bütün işleme değerlerinde kesici uçların yüzeyden aşındığı ve yüksek kesme parametre değerlerinden dolayı çeşitli aşınma izleri oluşturduğu görülmüştür. Kesme koşulları ve abrasif aşınma etkisiyle yüzey aşınmaları mevcut olup, kenar aşınması veya kesici uç aşınması sınırlı oluşmuştur.



4. GENEL SONUÇLAR, TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

1. Deneysel uygulama için kesme koşullarının belirlenmesinde literatürden ve üreticilerin tecrübelerinden yararlanılmıştır. Ortaya çıkan deney verilerinin, uygunluk ve doğruluk açısından değerlendirilmesi yapılarak, değişkenlik gösteren faktörlerin etkisi de değerlendirilmiştir.
2. CNC freze tezgâhında kesme işlemlerinde bütün uçlar için oluşan zorlanmalar takip edildiğinde, tüm kesme koşulları altında karbür kesici uçta oluşan zorlanmaların ('z' ekseninde) diğer uçlarda oluşan zorlanmalardan daha çok olduğu kaydedilmiştir. Aynı koşullar altında yapılan işlemede kesici takımlar incelendiğinde, en az zorlanmaların meydana geldiği takım tipi TiSiN kaplamalı kesici uç olurken, orta değerlerde zorlanmaya maruz kalan kesici freze uçları EXT-CrN kaplamalı kesici uçlar ve en fazla zorlanmaya sebebiyet veren uç tipinin karbür kesici uçlar olduğu görülmüştür.
3. Deneysel çalışmada, devir sayısının artması ve ilerleme hızının azaltılması neticesinde kesme için gerekli kuvvetlerin azalmakta olduğu görülmüştür. Bu deney çalışmasında devir sayısı ve ilerleme hızının aynı anda artırılmasıyla birlikte uçlarda zorlanmaların giderek artması, bu uçlarda kesme derinliğinin kesme işleminde daha etkili olduğunu göstermiştir.
4. TiSiN kaplamalı kesici uçlar için artan kesme parametre değerlerinde oluşan zorlanma ilk olarak artmış ve daha sonra stabil olarak devam etmiştir. En yüksek kesme değerlerinde en az zorlanmanın oluşmasının nedeni, devir sayısının bu kesici freze uçlarında daha etkin olmasıdır.
5. Kesme işlemini tamamlayan kesici uçların her birinde oluşan aşınmalar mikroskop yardımıyla incelendiğinde, bütün kesme parametre değerlerinde kullanılan takımlarda kırılma olmaksızın çeşitli aşınma yüzeyleri olduğu görülmüştür. TiSiN kaplamalı kesici uç için verimliliğin yüksek olduğu söylenebilir. Bunun nedeni olarak, TiSiN kaplamanın aşınması dışında, büyük sorunlara ve hasarlara neden olabilecek yüzeysel veya krater aşınmasına rastlanmaması gösterilebilir.
6. TiSiN kaplamalı ucun yüksek kesme ve ilerleme hızından dolayı az miktarda kesici uç sivriliğini kaybettiği görülmüştür. Karbür, EXT-CrN kaplamalı ve

- TiSiN kaplamalı kesici uçlar incelendiğinde, kaplama kabiliyeti sayesinde DIN 1.3247 çeliğinin kesici uca yapışması gözlemlenmemiştir. Karbür kesici takımların genel olarak bütün işleme değerlerinde yüzeyden aşındığı ve yüksek kesme parametre değerlerinden dolayı çeşitli aşınma izleri olduğu görülmüştür.
7. DIN 1.3247 çeliğinin frezelenmesinden sonra yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bütün işleme değerlerinde TiSiN kaplamalı ucun en iyi sonuç ve yüzey kalitesiyle işlemi tamamladığı anlaşılmıştır.
 8. Karbür kesici uçların işlediği yüzeyin yüzey pürüzlük değerinin en yüksek, yüzeyin niteliği ve kalitesi bakımından ise en kalitesiz yüzeye sahip olduğu anlaşılmıştır. Karbür ve EXT-CrN kaplamalı kesici uçların kesme işleminden sonra ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri, diğer kesici TiSiN kaplamalı kesici uçlar ile kıyaslandığında orta büyüklüğe sahip değerler olduğu belirtilebilir. Taguchi optimizasyonu yoluyla elde edilen sonuçların, deney düzeneği ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.
 9. Kesme işlemlerinde freze uçlarında oluşan ana etki durumunu göstermektedir. Grafiklerden anlaşılabileceği üzere optimal değerin; devir sayısı için 9000 dev/dak, kesme hızı için 160 m/dak, ilerleme hızı için 0,08 mm/dak, kesme derinliği için 0,5 mm olduğu görülmüştür.
 10. Uygulanan regresyon analizi verileri dikkate alındığında kesici uç tipinin yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı destekleyen Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (MÜBAP) birimine teşekkür ederim (Proje No: FEN-C-YLP-150218-0058)



KAYNAKLAR

Makale:

- [1] Tangjitsitcharoen S., Moriwaki T., (2008), Intelligent monitoring and identification of cutting states of chips and chatter on CNC turning machine, Journal of Manufacturing Processes 10,40-46. <https://doi.org/10.1016/j.manpro.2008.01.001>
- [2] Liu, Wei, et al. "PVD-CrAlN and TiAlN coated Si₃N₄ ceramic cutting tools—1. Microstructure, turning performance and wear mechanism." Ceramics International 43.12 (2017): 8999-9004. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.04.041>
- [3] Nas E., Samtaş G., Demir., (2011), CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,18 (1) 47-59.
- [4] Navarro-Devia, J. H., et al. "Performance evaluation of HSS cutting tool coated with hafnium and vanadium nitride multilayers, by temperature measurement and surface inspection, on machining AISI 1020 steel." Surface and Coatings Technology 332 (2017): 484-493. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.08.074>
- [5] Rao Ch. M., Venkatasubbaiah K., Rao K. J., (2016), "Experimental Investigation of Surface Roughness Characteristics Ra, Rq and Rz", International Journal of Hybrid Information Technology, 9 (7): 373-388.
- [6] Benardos, P. G.; Vosniakos, G. C.(2003), "Predicting Surface Roughness in Machining: A Review", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43, 833-844. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00059-2)
- [7] Rao Ch. M., Rao K. J., Babu K.S., (2015), "Analysis of Process Parameter in Dry Turning of Medium Carbon Steel En19 by Using Grey Relational Grade and Regression Methods", Int J Eng Res Appl, 5: 07-14.
- [8] Liu, Wei, et al. "PVD-CrAlN and TiAlN coated Si₃N₄ ceramic cutting inserts-2. High speed face milling performance and wear mechanism study." Ceramics International 43.12 (2017): 9488-9492. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.04.127>

- [9] Dobrzański, L. A., D. Pakuła, and E. Hajduczek. "Structure and properties of the multi-component TiAlSiN coatings obtained in the PVD process in the nitride tool ceramics." *Journal of Materials Processing Technology* 157 (2004): 331-340.
- [10] Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., (2015), "AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 132-144.
- [11] Teti, R.; Jemielniak, K.; O'Donnell, L. G.; (2010) Dornfeld, D.: Advanced Monitoring of Machining Operations, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59, 717-739. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.010>
- [12] Ortner, Hugo M., Peter Ettmayer, and Hans Kolaska. "The history of the technological progress of hardmetals." *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 44 (2014): 148-159.
- [13] Zhang, J. Z.; Chen, J. C.; Kirby, E. D.: (2007) Surface Roughness Optimization in an End-Milling Operation Using the Taguchi Design Method, *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 233-239.
- [14] Altin, Abdullah, Muammer Nalbant, and A. Taskesen. "The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools." *Materials & design*, 28.9 (2007): 2518-2522.
- [15] Dabade, U. A.; Joshi, S. S.; Ramakrishnan, N.: (2003) Analysis of Surface Roughness and Chip Cross-Sectional Area While Machining with Self-Propelled Round Inserts Milling Cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 305-312. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00949-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00949-4)
- [16] Thakur, A., and S. Gangopadhyay. "Influence of tribological properties on the performance of uncoated, CVD and PVD coated tools in machining of Incoloy 825." *Tribology International* 102 (2016): 198-212. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.05.027>
- [17] Wang, C. Y., et al. "Wear and breakage of TiAlN-and TiSiN-coated carbide tools during high-speed milling of hardened steel." *Wear* 336 (2015): 29-42.

- [18] Chang, Yin-Yu, and Hsing-Ming Lai. "Wear behavior and cutting performance of CrAlSiN and TiAlSiN hard coatings on cemented carbide cutting tools for Ti alloys." *Surface and Coatings Technology* 259 (2014): 152-158.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.02.015>
- [19] Saravanakumar A., Sasikumar P., Nilavusri N., (2016), "Optimization of Machining Parameters using Taguchi Method for Surface Roughness ", *Journal of Materials and Environmental Science*, 1556-1561, 7 (5).
- [20] Çalışkan, Halil, et al. "Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling." *Tribology International* 62 (2013): 215-222.
- [21] Nimase R. N., Khodke Dr. P. M., (2015), "Effect of Machining Parameters on Surface Roughness of Al-7075 Alloy in End Milling", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Volume: 02 Issue: 03.
- [22] Byrne, G., David Dornfeld, and B. Denkena. "Advancing cutting technology." *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 52.2 (2003): 483-507.
[https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60200-5](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60200-5)
- [23] Y. Niu, J. Wei, Z. Yu, "Microstructure and Tribological Behavior of Multilayered CrN Coating by Arc Ion Plating", *Surface & Coatings Technology* 275 (2015) 332–340
- [24] Ahmad Hamdan, Ahmed A. D. Sarhan, Mohd Hamdi, (2012), "An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58:81–91.
- [25] X. Sui, G. Li, C. Jiang, K. Wang, Y. Zhang, J. Hao, Improved Toughness of Layered Architecture TiAlN/CrN Coatings for Titanium High Speed Cutting", *Ceramics International* 44 (2018) 5629–5635
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.210>
- [26] Pimenov, D. Yu, et al. "A study of the influence of processing parameters and tool wear on elastic displacements of the technological system under face milling." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 92.9-12 (2017): 4473-4486.

- [27] Bülbül F., (2014), “Sert ve Yumuşak Kaplamalar ”, Tek. Derg., Cilt:4, Sayı:2, pp. 32-41.
- [28] Kalss, W., et al. "Modern coatings in high performance cutting applications." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 24.5 (2006): 399-404.
- [29] Deng, Jianxin, et al. "Erosion wear of CrN, TiN, CrAlN, and TiAlN PVD nitride coatings." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 35 (2012): 10-16.
- [30] Gilewicz, Adam, and B. Warcholinski. "Tribological properties of CrCN/CrN multilayer coatings." Tribology International 80 (2014): 34-40.
- [31] Yang, Dong, and Zhanqiang Liu. "Quantification of microstructural features and prediction of mechanical properties of a dual-phase Ti-6Al-4V alloy." Materials 9.8 (2016): 628.
- [32] Teppernegg, T., et al. "Evolution of residual stress in Ti–Al–Ta–N coatings on hard metal milling inserts." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 52 (2015): 171-175.
- [33] Bobzin, Kirsten. "High-performance coatings for cutting tools." CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 18 (2017): 1-9.
- [34] Sato, Masahiko, Tomoyuki Aoki, Hisataka Tanaka, and Satoshi Takeda, (2013), “Variation of Temperature at The Bottom Surface of a Hole During Drilling and Its Effect on Tool Wear ”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 68: 40-47.
- [35] Chen, Yun, et al. "Structure and wear behavior of AlCrSiN-based coatings." Applied Surface Science 370 (2016): 176-183.
- [36] Gong, Feng, et al. "Fatigue failure of coated carbide tool and its influence on cutting performance in face milling SKD11 hardened steel." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 64 (2017): 27-34.

- [37] Yuan, Yaohui, et al. "Relationship of microstructure, mechanical properties and hardened steel cutting performance of TiSiN-based nanocomposite coated tool." *Journal of Manufacturing Processes* 28 (2017): 399-409.
- [38] Strahin, B. L., and G. L. Doll. "Tribological coatings for improving cutting tool performance." *Surface and Coatings Technology* (2017).
- [39] Michailidis, N. "Variations in the cutting performance of PVD-coated tools in milling Ti6Al4V, explained through temperature-dependent coating properties." *Surface and Coatings Technology* 304 (2016): 325-329.
- [40] Chowdhury, M. S. I., et al. "Wear behaviour of coated carbide tools during machining of Ti6Al4V aerospace alloy associated with strong built up edge formation." *Surface and Coatings Technology* 313 (2017): 319-327.
- [41] Liu, Z. Q., et al. "Wear patterns and mechanisms of cutting tools in high-speed face milling." *Journal of materials processing technology* 129.1-3 (2002): 222-226.
- [42] Bouzakis, Konstantinos-Dionysios, et al. "Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization." *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 61.2 (2012): 703-723.
- [43] Yang Y., Chuang M., Lin S., (2009), Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods, *Journal of Materials Processing Technology* 209, 4395-4400.
- [44] Bhatt, Abhay, (2010): "Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718." *Tribology International* 43.5-6,1113-1121.
- [45] Tepperneegg, T., (2014): "Evolution of residual stress and damage in coated hard metal milling inserts over the complete tool life." *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 47, 80-85.
- [46] Fernández-Abia, A. I., (2013): "Behaviour of PVD coatings in the turning of austenitic stainless steels." *Procedia Engineering* 63, 133-141.

- [47] Settineri, Luca, (2008): "Evaluation of wear resistance of AlSiTiN and AlSiCrN nanocomposite coatings for cutting tools." CIRP Annals-Manufacturing Technology 57.1 575-578.
- [48] M Nouaria, A. Molinari., Center for Manufacturing, College of Engineering, University of Kentucky, UK Center for Manufacturing, 414G Robotics Building(Office 414L), 878-886, Amerika (2008).
- [49] Rajaguru, J., and N. Arunachalam. "Coated tool Performance in Dry Turning of Super Duplex Stainless Steel." Procedia Manufacturing 10 (2017): 601-611.
- [50] Beake, B. D., et al. "Wear performance of different PVD coatings during hard wet end milling of H13 tool steel." Surface and Coatings Technology 279 (2015): 118-125.
- [51] Chinchani, Satish, and S. K. Choudhury. "Investigations on machinability aspects of hardened AISI 4340 steel at different levels of hardness using coated carbide tools." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 38 (2013): 124-133.
- [52] Kuram E, Ozcelik B, Demirbas E., (2013), “ Environmentally Friendly Machining: Vegetable Based Cutting Fluids ”, Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, Vol.6 No.4, October 12.
- [53] Maiyara L. M., Ramanujamb R., Venkatesanc K., Jerald J., (2013), Optimization of Machining Parameters for End Milling of Inconel 718 Super Alloy Using Taguchi Based Grey Relational Analysis, Procedia Engineering 64,1276 – 1282.
- [54] Koyilada, B., S. Gangopadhyay, and A. Thakur. "Comparative evaluation of machinability characteristics of Nimonic C-263 using CVD and PVD coated tools." Measurement 85 (2016): 152-163.
- [55] Nascimento Rosa, Sílvia, et al. "Analysis of the life of cemented carbide drills with modified surfaces." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71.9-12 (2014): 2125-2136.

- [56] Fox-Rabinovich, G. S., et al. "Design and performance of AlTiN and TiAlCrN PVD coatings for machining of hard to cut materials." *Surface and coatings technology* 204.4 (2009): 489-496.
- [57] Van den Berg, H., et al. "Development and Applications of New Composite and Multilayer Composite Coatings." *Euro PM02 Conference*, Oct. 2002.
- [58] Bouzakis, K-D., et al. "Effect of the cutting edge radius and its manufacturing procedure, on the milling performance of PVD coated cemented carbide inserts." *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 51.1 (2002): 61-64.
- [59] Wang, C. Y., et al. "Wear and breakage of TiAlN-and TiSiN-coated carbide tools during high-speed milling of hardened steel." *Wear* 336 (2015): 29-42.
- [60] Chetan, Sudarsan Ghosh, P. Venkateswara Rao., (2015), “ Application of Sustainable Techniques in Metal Cutting for Enhanced Machinability: A Review ”, *Journal of Cleaner Production*, 100, 17-34.
- [61] Ghani, Jaharah A., I. A. Choudhury, and H. H. Masjuki. "Wear mechanism of TiN coated carbide and uncoated cermets tools at high cutting speed applications." *Journal of Materials Processing Technology* 153 (2004): 1067-1073.
- [62] Cui, Xiaobin, and Jun Zhao. "Cutting performance of coated carbide tools in high-speed face milling of AISI H13 hardened steel." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 71.9-12 (2014): 1811-1824.
- [63] Dobrzański, L. A., et al. "Tribological properties of the PVD and CVD coatings deposited onto the nitride tool ceramics." *Journal of materials processing technology* 175.1-3 (2006): 179-185.
- [64] M. H. S. Elmunafi, M. Y. Noordin, and D. Kurniawan, (2015), “Tool Life of Coated Carbide Cutting Tool when Turning Hardened Stainless Steel under Minimum Quantity Lubricant Using Castor Oil”, *Procedia Manufacturing*, vol. 2, no. 2, pp. 563–567.
- [65] Junior, Aldo Braghini, Anselmo Eduardo Diniz, and Fernando Teixeira Filho. "Tool wear and tool life in end milling of 15–5 PH stainless steel under different

cooling and lubrication conditions."The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 43.7-8 (2009): 756.

[66] PalDey, S. C. D. S., and S. C. Deevi. "Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al) N: a review." Materials Science and Engineering: A 342.1-2 (2003): 58-79.

[67] Paseuth, Anongsack, Haruyo Fukui, and Kazuo Yamagata. "Improvement of mechanical properties and cutting performance of modified MT-TiC_xN_{1-x} coating by moderate temperature chemical vapor deposition." Surface and Coatings Technology 291 (2016): 54-61.

[68] Ghani, Jaharah A., I. A. Choudhury, and H. H. Masjuki. "Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed." Journal of Materials Processing Technology 153 (2004): 1062-1066.

[69] Sun, S., M. Brandt, and M. S. Dargusch. "Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys." International Journal of Machine Tools and Manufacture 49.7-8 (2009): 561-568.

[70] An, Qinglong, et al. "Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 43 (2014): 94-101.

[71] Harsh Y. Valeraa, Sanket N. Bhavsara, (2014), "Experimental Investigation of Surface Roughness and Power Consumption in Turning Operation of EN 31 Alloy Steel", Procedia Technology, pp.528-534.

[72] Klimchik A., Ambiehl A., Garnier S., Furet B. and Pashkevich A., (2017), "Efficiency Evaluation of Robot in Machining Applications using Industrial Performance Measure ", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 48, pp.12-29.

[73] Haubner, Roland, et al. "Evolution of conventional hard coatings for its use on cutting tools." International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 62 (2017): 210-218.

- [74] Boswell, B., Islam, M.N., Davies, I.J., Ginting, Y.R., Ong, A.K., (2017), “A Review Identifying The Effectiveness of Minimum Quantity Lubrication (MQL) During Conventional Machining”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1–20.
- [75] Ghani J.A., Choudhury I.A., Hassan H.H., (2003), Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters, Journal of Materials Processing Technology 145, 84–92.
- [76] Kulekci M.K., Eşme U., Ekşi A.K., Koçoğlu Z. ve Yılmaz N.F., (2017), “En Aw 5754 (Almg3) Alüminyum Alaşımının Frezelenmesi İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi”, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, vol. 32(2), pp.153-160.
- [77] Ranganath M S, Vipin, (2013), “Optimization of Process Parameters İn Turning Operation Using Taguchi Method And Anova: A Review”, International Journal of Advance Research and Innovation, Vol.1, pp.31-45.
- [78] Kuldeep Singh Sangwana, Sachin Saxenaa, Girish Kanta, (2015), “Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach”, Procedia CIRP 29, pp.305-310.

Bildiri:

- [79] Yalcinkaya.S ., Ustundag.A., Kocabicak.A.C.,(2018). “A Research for Wear Behaviours of Coated Cutting Tools:A Mini Review”, 2nd International Conference on Tribology-TURKEYTRIB'18 Conference 18th to 20th April, Istanbul, <http://turkeytribconferences.com>.
- [80] Yalçinkaya.S., Üstündağ.A.,(2020)., “Karbür, EXT-CrN ve TiSiN Kaplı Freze Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi ile Performansının Optimizasyonu”, 6th International Congress on Engineering, Architecture and Design, December-2020, Yayıncı Sertifika No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-64-8, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.

[81] Üstündağ.A., Yalçinkaya.S.,(2020), “Karbür Freze Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi ile Performansının Optimizasyonu”, 6th International Congress on Engineering, Architecture and Design, December-2020. Yayıncı Sertifika No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-64-8, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.

[82] İlhan M., Çavuşoğlu O., Duran A., ve Şeker U., (2013), “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama (MQL) Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Debisine Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, 4.ulusal talaşlı imalat sempozyumu, 637-643.

[83] Thompson, B., Doherty, K., Niese C., Eff, M., Stotler, T., Pramann Z., Seaman, J., Spencer, R., White P., (2012), “Friction Stir Welding of Thick Section Aluminum For Military Vehicle Applications”, A reprint from the 9th International Symposium on Friction Stir Welding (9ISFSW), 15-17 Mayıs, Huntsville, Alabama.

[84] Uluğ D., Dilipak H., (2012), “Kaplama ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar için Takım Ömrü Modelindeki “n” Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 4-5 Ekim, Ankara.

[85] M.SenthilKumar, A.Prabukarthi, V.Krishnaraj, (2013), “Study on Tool Wear and Chip Formation during Drilling Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)/ Titanium Alloy (Ti6Al4V) Stacks”, International Conference on Design and Manufacturing, 18-20 Temmuz, Hindistan.

Kitap:

[86] Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları". BirsenYayınevi, 29, 347s. İstanbul, (2004)..

[87] Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 163-170 (2000).

[88] Groover M. P., (2016), “Modern İmalatın Prensipleri”, Yurdakul M., Tansel Y., 1. Baskı, Nobel Yayınları, 11150, Ankara.

[89] Aydın M., Yaşar M., Gavas M., Altunpak Y., (2012), “ Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri”, 2. Baskı, Seçkin Yayınları, Ankara.

[90] Mikell P. Groover, John Wiley, (2016), “ Principles of Modern Manufacturing - Modern İmalatın Prensipleri ”, çeviri editörleri; Mustafa Yurdakul, Yusuf Tansel İç, 4. Edition.

[91] Albert J. Shih, Steven Liang, (2016), “Analysis of Machining and Machine Tools”, 1st Edition.

[92] David A. Stephenson, John S. Agapiou, (2016), “Metal Cutting Theory and Practice”, 3rd Edition.

[93] Serope Kalpakjian, “13.4 Machining Processes and Machine Tools”

Tezler:

[94] Etik. M., (2004)., “Paslanmaz Çeliklerin Düzlem Yüzey Frezelemede Talaşlı İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.

[95] Bülbül Emrah A., (2013), “Kaplamaşız, Pvd Tekniğı ile TiN ve AlTiN Kaplanmış Din 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Makine Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 23-24.

[96] Altaş E., (2015), “Nanotabakalı AlTiN/TiN Kaplamalı Karbür Kesici Takımların Ti6Al4V Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Performanslarının ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Türkiye, 36-38

[97] Özocakcıoğlu A., (2016), “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, 17-18.

İNTERNET KAYNAKLARI

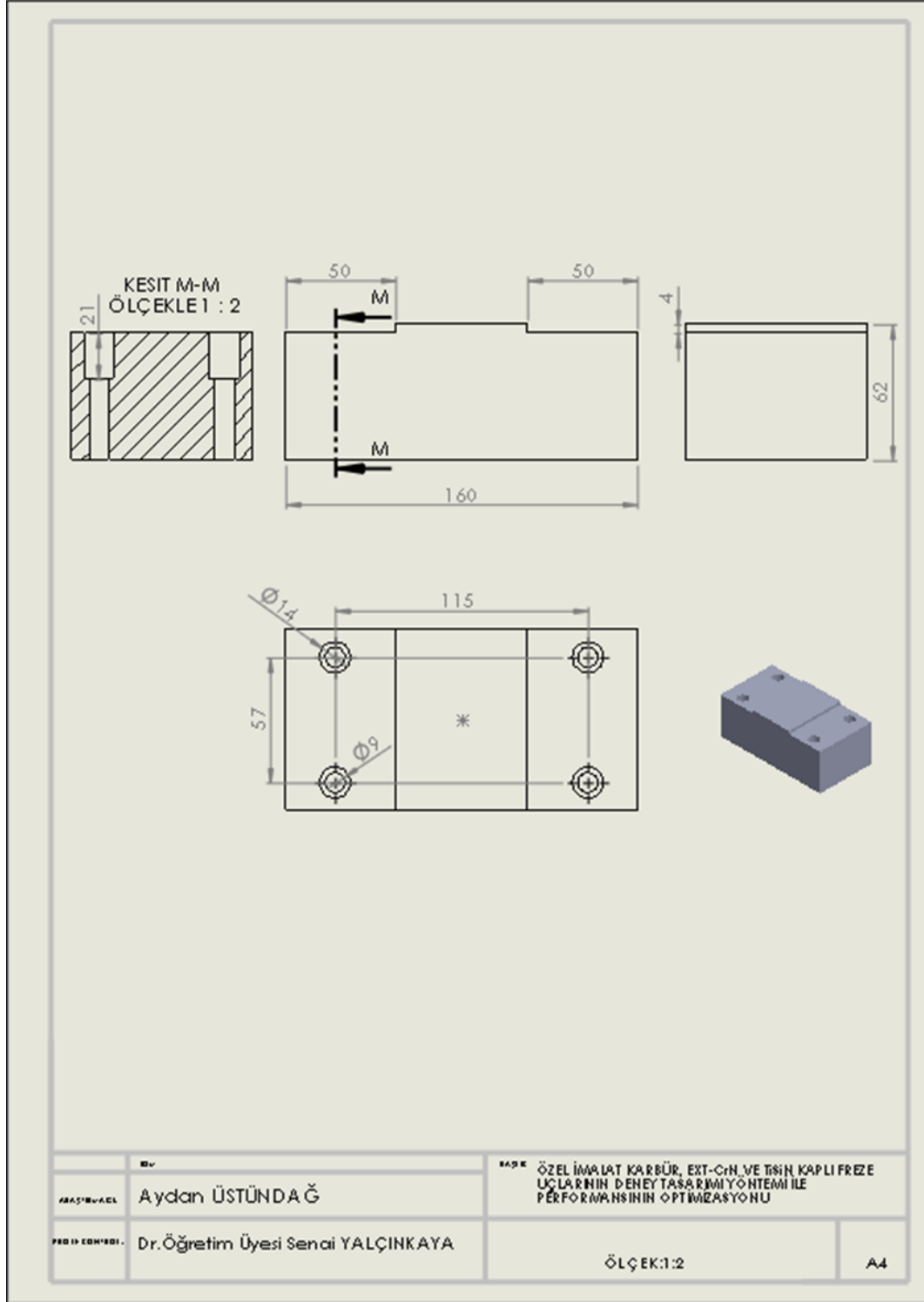
URL-1 <http://www.kapco.com.tr/tr>. (10.12.2020)

URL-2 www.titanit.com.tr. (10.12.2020).

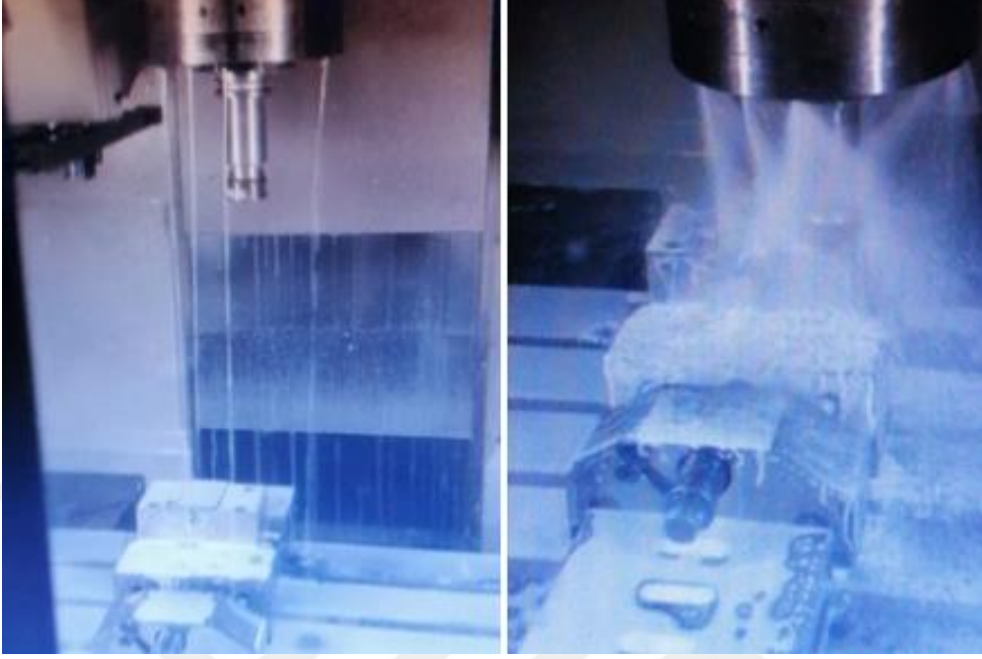
URL-3 Minitab 18.2. Optimizasyon Programı. <https://www.minitab.com/en-us/>

EKLER

EK1 – Deney iş parçasının teknik resim ölçülendirmesi



EK2 – Deney iş parçalarınınCNC tezgâhta çalışması esnasında fotoğrafları



EK3– Deney iş parçalarının CNC tezgâhta çalışması esnasında fotoğrafları



EK4 – Denaysel çalışmada CNC freze tezgâhında kullanılan NC kodları

3000 dev/dak devir ile yapılan çalışmada kullanılan NC kodları

(T1 D=52. CR=2. - ZMIN=-2. - BULLNOSE END MILL)

N10 G90 G94 G17

N15 G21

N20 G28 G91 Z0.

N25 G90

(HORIZONTAL1)

N30 M09

N35 G91G28X0Y0

N40 G5P0

N45 M1

N50 T1 M06

N55 S3000 M03

N60 G5P10000

N65 G90

N70 M8

N75 G54

N80 M08

N85 G00 X-82.483 Y-5.27

N90 G43 Z16. H01

N95 Z7.2

N100 G18 G02 X-77.283 Z2. I5.2 F6000.

N105 G17 G03 X-76.679 Y-5.234 J5.2

N110 G01 X-32.819 Y-0.105

N115 G02 X-27.015 Y-5.27 I0.604 J-5.165

N120 G03 X-12.452 Y-19.832 I14.562

N125 G01 X12.452

N130 G03 X27.015 Y-5.27 J14.562

N135 G01 Y5.27

N140 G03 X12.452 Y19.832 I-14.562

N145 G01 X-12.634

N150 G03 X-27.015 Y5.452 J-14.38

N155 G01 Y-5.27

N160 G02 X-37.849 Y-21.521 I-17.605

N165 G03 X-48.683 Y-37.772 I6.771 J-16.251

N170 G01 Y-41.498

N175 X-48.681 Y-41.5

N180 X48.681

N185 X48.683 Y-41.498

N190 Y41.498

N195 X48.681 Y41.5

N200 X-48.681

N205 X-48.683 Y41.498

N210 Y-37.772

N215 G19 G02 Y-41.498 Z3.573 K5.2

N220 G01 X-48.681 Y-41.5 Z3.576

N225 G18 G02 X-47.21 Z7.2 I-3.729 K3.624

N230 G00 X-100.249 Y69.056

N235 Z3.2

N240 G01 X-100.244 Y69.051 Z2.918 F6000.

N245 X-100.228 Y69.035 Z2.638

N250 X-100.201 Y69.008 Z2.359

N255 X-100.163 Y68.97 Z2.082

N260 X-100.115 Y68.922 Z1.809

N265 X-100.056 Y68.864 Z1.54

N270 X-99.988 Y68.795 Z1.275
N275 X-99.909 Y68.717 Z1.017
N280 X-99.82 Y68.628 Z0.764
N285 X-99.722 Y68.53 Z0.519
N290 X-99.615 Y68.423 Z0.282
N295 X-99.499 Y68.307 Z0.053
N300 X-99.374 Y68.183 Z-0.166
N305 X-99.241 Y68.05 Z-0.376
N310 X-99.1 Y67.909 Z-0.575
N315 X-98.951 Y67.761 Z-0.763
N320 X-98.796 Y67.606 Z-0.94
N325 X-98.634 Y67.444 Z-1.104
N330 X-98.466 Y67.277 Z-1.256
N335 X-98.293 Y67.103 Z-1.394
N340 X-98.114 Y66.925 Z-1.519
N345 X-97.931 Y66.742 Z-1.631
N350 X-97.744 Y66.556 Z-1.728
N355 X-97.553 Y66.366 Z-1.81
N360 X-97.36 Y66.172 Z-1.878
N365 X-97.164 Y65.977 Z-1.931
N370 X-96.967 Y65.78 Z-1.97
N375 X-96.768 Y65.582 Z-1.992
N380 X-96.569 Y65.383 Z-2.
N385 X-80.006 Y48.853
N390 G17 G02 X-79.999 Y41.499 I-3.673 J-3.681
N395 G01 X-80. Y41.498
N400 Y-41.498
N405 X-79.998 Y-41.5
N410 X-58.002
N415 X-58. Y-41.498
N420 Y41.498
N425 X-58.002 Y41.5
N430 X-79.998
N435 X-79.999 Y41.499
N440 X-80. Y41.498
N445 G19 G02 Y36.299 Z3.2 J0.002 K5.2
N450 G00 Z6.
N455 X100.249 Y-69.056
N460 Z3.2
N465 G01 X100.244 Y-69.051 Z2.918 F6000.
N470 X100.228 Y-69.035 Z2.638
N475 X100.201 Y-69.008 Z2.359
N480 X100.163 Y-68.97 Z2.082
N485 X100.115 Y-68.922 Z1.809
N490 X100.056 Y-68.864 Z1.54
N495 X99.988 Y-68.795 Z1.275
N500 X99.909 Y-68.717 Z1.017
N505 X99.82 Y-68.628 Z0.764
N510 X99.722 Y-68.53 Z0.519
N515 X99.615 Y-68.423 Z0.282
N520 X99.499 Y-68.307 Z0.053
N525 X99.374 Y-68.183 Z-0.166
N530 X99.241 Y-68.05 Z-0.376
N535 X99.1 Y-67.909 Z-0.575
N540 X98.951 Y-67.761 Z-0.763
N545 X98.796 Y-67.606 Z-0.94
N550 X98.634 Y-67.444 Z-1.104
N555 X98.466 Y-67.277 Z-1.256

N560 X98.293 Y-67.103 Z-1.394
N565 X98.114 Y-66.925 Z-1.519
N570 X97.931 Y-66.742 Z-1.631
N575 X97.744 Y-66.556 Z-1.728
N580 X97.553 Y-66.366 Z-1.81
N585 X97.36 Y-66.172 Z-1.878
N590 X97.164 Y-65.977 Z-1.931
N595 X96.967 Y-65.78 Z-1.97
N600 X96.768 Y-65.582 Z-1.992
N605 X96.569 Y-65.383 Z-2.
N610 X80.006 Y-48.853
N615 G17 G02 X79.999 Y-41.499 I3.673 J3.681
N620 G01 X80. Y-41.498
N625 Y41.498
N630 X79.998 Y41.5
N635 X58.002
N640 X58. Y41.498
N645 Y-41.498
N650 X58.002 Y-41.5
N655 X79.998
N660 X79.999 Y-41.499
N665 X80. Y-41.498
N670 G19 G03 Y-36.299 Z3.2 J-0.002 K5.2
N675 G00 Z16.
N680 G17
N685 M09
N690 G5P0
N695 G28 G91 Z0.
N700 G28 X0. Y0.
N705 G90
N710 M30

6000 dev/dak devir ile yapılan çalışmada kullanılan NC kodları

(T1 D=52. CR=2. - ZMIN=-2. - BULLNOSE END MILL)
N10 G90 G94 G17
N15 G21
N20 G28 G91 Z0.
N25 G90
(HORIZONTAL1)
N30 M09
N35 G91G28X0Y0
N40 G5P0
N45 M1
N50 T1 M06
N55 S6000 M03
N60 G5P10000
N65 G90
N70 M8
N75 G54
N80 M08
N85 G00 X-82.483 Y-5.27
N90 G43 Z16. H01
N95 Z7.2

N100 G18 G02 X-77.283 Z2. I5.2 F6000.
N105 G17 G03 X-76.679 Y-5.234 J5.2
N110 G01 X-32.819 Y-0.105
N115 G02 X-27.015 Y-5.27 I0.604 J-5.165
N120 G03 X-12.452 Y-19.832 I14.562
N125 G01 X12.452
N130 G03 X27.015 Y-5.27 J14.562
N135 G01 Y5.27
N140 G03 X12.452 Y19.832 I-14.562
N145 G01 X-12.634
N150 G03 X-27.015 Y5.452 J-14.38
N155 G01 Y-5.27
N160 G02 X-37.849 Y-21.521 I-17.605
N165 G03 X-48.683 Y-37.772 I6.771 J-16.251
N170 G01 Y-41.498
N175 X-48.681 Y-41.5
N180 X48.681
N185 X48.683 Y-41.498
N190 Y41.498
N195 X48.681 Y41.5
N200 X-48.681
N205 X-48.683 Y41.498
N210 Y-37.772
N215 G19 G02 Y-41.498 Z3.573 K5.2
N220 G01 X-48.681 Y-41.5 Z3.576
N225 G18 G02 X-47.21 Z7.2 I-3.729 K3.624
N230 G00 X-100.249 Y69.056
N235 Z3.2
N240 G01 X-100.244 Y69.051 Z2.918 F6000.
N245 X-100.228 Y69.035 Z2.638
N250 X-100.201 Y69.008 Z2.359
N255 X-100.163 Y68.97 Z2.082
N260 X-100.115 Y68.922 Z1.809
N265 X-100.056 Y68.864 Z1.54
N270 X-99.988 Y68.795 Z1.275
N275 X-99.909 Y68.717 Z1.017
N280 X-99.82 Y68.628 Z0.764
N285 X-99.722 Y68.53 Z0.519
N290 X-99.615 Y68.423 Z0.282
N295 X-99.499 Y68.307 Z0.053
N300 X-99.374 Y68.183 Z-0.166
N305 X-99.241 Y68.05 Z-0.376
N310 X-99.1 Y67.909 Z-0.575
N315 X-98.951 Y67.761 Z-0.763
N320 X-98.796 Y67.606 Z-0.94
N325 X-98.634 Y67.444 Z-1.104
N330 X-98.466 Y67.277 Z-1.256
N335 X-98.293 Y67.103 Z-1.394
N340 X-98.114 Y66.925 Z-1.519
N345 X-97.931 Y66.742 Z-1.631

N350 X-97.744 Y66.556 Z-1.728
N355 X-97.553 Y66.366 Z-1.81
N360 X-97.36 Y66.172 Z-1.878
N365 X-97.164 Y65.977 Z-1.931
N370 X-96.967 Y65.78 Z-1.97
N375 X-96.768 Y65.582 Z-1.992
N380 X-96.569 Y65.383 Z-2.
N385 X-80.006 Y48.853
N390 G17 G02 X-79.999 Y41.499 I-3.673 J-3.681
N395 G01 X-80. Y41.498
N400 Y-41.498
N405 X-79.998 Y-41.5
N410 X-58.002
N415 X-58. Y-41.498
N420 Y41.498
N425 X-58.002 Y41.5
N430 X-79.998
N435 X-79.999 Y41.499
N440 X-80. Y41.498
N445 G19 G02 Y36.299 Z3.2 J0.002 K5.2
N450 G00 Z6.
N455 X100.249 Y-69.056
N460 Z3.2
N465 G01 X100.244 Y-69.051 Z2.918 F6000.
N470 X100.228 Y-69.035 Z2.638
N475 X100.201 Y-69.008 Z2.359
N480 X100.163 Y-68.97 Z2.082
N485 X100.115 Y-68.922 Z1.809
N490 X100.056 Y-68.864 Z1.54
N495 X99.988 Y-68.795 Z1.275
N500 X99.909 Y-68.717 Z1.017
N505 X99.82 Y-68.628 Z0.764
N510 X99.722 Y-68.53 Z0.519
N515 X99.615 Y-68.423 Z0.282
N520 X99.499 Y-68.307 Z0.053
N525 X99.374 Y-68.183 Z-0.166
N530 X99.241 Y-68.05 Z-0.376
N535 X99.1 Y-67.909 Z-0.575
N540 X98.951 Y-67.761 Z-0.763
N545 X98.796 Y-67.606 Z-0.94
N550 X98.634 Y-67.444 Z-1.104
N555 X98.466 Y-67.277 Z-1.256
N560 X98.293 Y-67.103 Z-1.394
N565 X98.114 Y-66.925 Z-1.519
N570 X97.931 Y-66.742 Z-1.631
N575 X97.744 Y-66.556 Z-1.728
N580 X97.553 Y-66.366 Z-1.81
N585 X97.36 Y-66.172 Z-1.878
N590 X97.164 Y-65.977 Z-1.931
N595 X96.967 Y-65.78 Z-1.97

N600 X96.768 Y-65.582 Z-1.992
N605 X96.569 Y-65.383 Z-2.
N610 X80.006 Y-48.853
N615 G17 G02 X79.999 Y-41.499 I3.673 J3.681
N620 G01 X80. Y-41.498
N625 Y41.498
N630 X79.998 Y41.5
N635 X58.002
N640 X58. Y41.498
N645 Y-41.498
N650 X58.002 Y-41.5
N655 X79.998
N660 X79.999 Y-41.499
N665 X80. Y-41.498
N670 G19 G03 Y-36.299 Z3.2 J-0.002 K5.2
N675 G00 Z16.
N680 G17
N685 M09
N690 G5P0
N695 G28 G91 Z0.
N700 G28 X0. Y0.
N705 G90
N710 M30

9000 dev/dak devir ile yapılan çalışmada kullanılan NC kodları

(T1 D=52. CR=2. - ZMIN=-2. - BULLNOSE END MILL)
N10 G90 G94 G17
N15 G21
N20 G28 G91 Z0.
N25 G90
(HORIZONTAL1)
N30 M09
N35 G91G28X0Y0
N40 G5P0
N45 M1
N50 T1 M06
N55 S9000 M03
N60 G5P10000
N65 G90
N70 M8
N75 G54
N80 M08
N85 G00 X-82.483 Y-5.27
N90 G43 Z16. H01
N95 Z7.2
N100 G18 G02 X-77.283 Z2. I5.2 F6000.
N105 G17 G03 X-76.679 Y-5.234 J5.2
N110 G01 X-32.819 Y-0.105
N115 G02 X-27.015 Y-5.27 I0.604 J-5.165

N120 G03 X-12.452 Y-19.832 I14.562
N125 G01 X12.452
N130 G03 X27.015 Y-5.27 J14.562
N135 G01 Y5.27
N140 G03 X12.452 Y19.832 I-14.562
N145 G01 X-12.634
N150 G03 X-27.015 Y5.452 J-14.38
N155 G01 Y-5.27
N160 G02 X-37.849 Y-21.521 I-17.605
N165 G03 X-48.683 Y-37.772 I6.771 J-16.251
N170 G01 Y-41.498
N175 X-48.681 Y-41.5
N180 X48.681
N185 X48.683 Y-41.498
N190 Y41.498
N195 X48.681 Y41.5
N200 X-48.681
N205 X-48.683 Y41.498
N210 Y-37.772
N215 G19 G02 Y-41.498 Z3.573 K5.2
N220 G01 X-48.681 Y-41.5 Z3.576
N225 G18 G02 X-47.21 Z7.2 I-3.729 K3.624
N230 G00 X-100.249 Y69.056
N235 Z3.2
N240 G01 X-100.244 Y69.051 Z2.918 F6000.
N245 X-100.228 Y69.035 Z2.638
N250 X-100.201 Y69.008 Z2.359
N255 X-100.163 Y68.97 Z2.082
N260 X-100.115 Y68.922 Z1.809
N265 X-100.056 Y68.864 Z1.54
N270 X-99.988 Y68.795 Z1.275
N275 X-99.909 Y68.717 Z1.017
N280 X-99.82 Y68.628 Z0.764
N285 X-99.722 Y68.53 Z0.519
N290 X-99.615 Y68.423 Z0.282
N295 X-99.499 Y68.307 Z0.053
N300 X-99.374 Y68.183 Z-0.166
N305 X-99.241 Y68.05 Z-0.376
N310 X-99.1 Y67.909 Z-0.575
N315 X-98.951 Y67.761 Z-0.763
N320 X-98.796 Y67.606 Z-0.94
N325 X-98.634 Y67.444 Z-1.104
N330 X-98.466 Y67.277 Z-1.256
N335 X-98.293 Y67.103 Z-1.394
N340 X-98.114 Y66.925 Z-1.519
N345 X-97.931 Y66.742 Z-1.631
N350 X-97.744 Y66.556 Z-1.728
N355 X-97.553 Y66.366 Z-1.81
N360 X-97.36 Y66.172 Z-1.878
N365 X-97.164 Y65.977 Z-1.931

N370 X-96.967 Y65.78 Z-1.97
N375 X-96.768 Y65.582 Z-1.992
N380 X-96.569 Y65.383 Z-2.
N385 X-80.006 Y48.853
N390 G17 G02 X-79.999 Y41.499 I-3.673 J-3.681
N395 G01 X-80. Y41.498
N400 Y-41.498
N405 X-79.998 Y-41.5
N410 X-58.002
N415 X-58. Y-41.498
N420 Y41.498
N425 X-58.002 Y41.5
N430 X-79.998
N435 X-79.999 Y41.499
N440 X-80. Y41.498
N445 G19 G02 Y36.299 Z3.2 J0.002 K5.2
N450 G00 Z6.
N455 X100.249 Y-69.056
N460 Z3.2
N465 G01 X100.244 Y-69.051 Z2.918 F6000.
N470 X100.228 Y-69.035 Z2.638
N475 X100.201 Y-69.008 Z2.359
N480 X100.163 Y-68.97 Z2.082
N485 X100.115 Y-68.922 Z1.809
N490 X100.056 Y-68.864 Z1.54
N495 X99.988 Y-68.795 Z1.275
N500 X99.909 Y-68.717 Z1.017
N505 X99.82 Y-68.628 Z0.764
N510 X99.722 Y-68.53 Z0.519
N515 X99.615 Y-68.423 Z0.282
N520 X99.499 Y-68.307 Z0.053
N525 X99.374 Y-68.183 Z-0.166
N530 X99.241 Y-68.05 Z-0.376
N535 X99.1 Y-67.909 Z-0.575
N540 X98.951 Y-67.761 Z-0.763
N545 X98.796 Y-67.606 Z-0.94
N550 X98.634 Y-67.444 Z-1.104
N555 X98.466 Y-67.277 Z-1.256
N560 X98.293 Y-67.103 Z-1.394
N565 X98.114 Y-66.925 Z-1.519
N570 X97.931 Y-66.742 Z-1.631
N575 X97.744 Y-66.556 Z-1.728
N580 X97.553 Y-66.366 Z-1.81
N585 X97.36 Y-66.172 Z-1.878
N590 X97.164 Y-65.977 Z-1.931
N595 X96.967 Y-65.78 Z-1.97
N600 X96.768 Y-65.582 Z-1.992
N605 X96.569 Y-65.383 Z-2.
N610 X80.006 Y-48.853
N615 G17 G02 X79.999 Y-41.499 I3.673 J3.681

N620 G01 X80. Y-41.498
N625 Y41.498
N630 X79.998 Y41.5
N635 X58.002
N640 X58. Y41.498
N645 Y-41.498
N650 X58.002 Y-41.5
N655 X79.998
N660 X79.999 Y-41.499
N665 X80. Y-41.498
N670 G19 G03 Y-36.299 Z3.2 J-0.002 K5.2
N675 G00 Z16.
N680 G17
N685 M09
N690 G5P0
N695 G28 G91 Z0.
N700 G28 X0. Y0.
N705 G90
N710 M30



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad : AYDAN

Soyad : ÜSTÜNDAĞ

Eğitim

Marmara Üniversitesi / Makine Mühendisliği (2017-) (Yüksek Lisans)

Manisa Celal Bayar Üniversitesi / Makine Mühendisliği (2010-2014) (Lisans)

İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi (2005-2009)

Sempozyumlar

Yalcinkaya.S ., Ustundag.A., Kocabicak.A.C.,(2018). “A Research for Wear Behaviours of Coated Cutting Tools:A Mini Review”, 2nd International Conference on Tribology-TURKEYTRIB'18 Conference 18th to 20th April, Istanbul, <http://turkeytribconferences.com>.

Yalcinkaya.S., Üstündağ.A.,(2020), “Karbür, EXT-CrN ve TiSiN Kaplı Freze Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi ile Performansının Optimizasyonu”, 6th International Congress on Engineering, Architecture and Design, December-2020, Yayıncı Sertifika No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-64-8, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.

Üstündağ.A., Yalcinkaya.S.,(2020), “Karbür Freze Uçlarının Deney Tasarımı Yöntemi ile Performansının Optimizasyonu”, 6th International Congress on Engineering, Architecture and Design, December-2020. Yayıncı Sertifika No: 36934, E-ISBN: 978-605-7594-64-8, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.