

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GG25 PİK DÖKÜM MALZEMENİN TALAŞLI İMALATININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Şafak BARAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

EYLÜL 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GG25 PİK DÖKÜM MALZEMENİN TALAŞLI İMALATININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Şafak BARAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı

Tez Danışmanı:

EYLÜL 2023

Mehmet Şafak Baran tarafından hazırlanan “GG25 Pik Döküm Malzemenin Talaşlı İmalatının İncelenmesi” adlı tez çalışması 21.09.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Tasarım ve İmalat Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Unvan Adı Soyadı
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi :

Unvan Adı Soyadı
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi :

Unvan Adı Soyadı
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “GG25 Pik Döküm Malzemenin Talaşlı İmalatının İncelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(24/09/2023)

Mehmet Şafak BARAN





Eşime ve kendime...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, değerli danışman hocama

Çalışmalarım boyunca beni her zaman destekleyen sevgili eşim Serra Özvardar Baran'a

Deneyisel çalışmalar boyunca imkanlarından yararlandığım Trakya Döküm San.Tic. A.Ş ve Talaşlı İmalat Bölümü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Şafak BARAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR	xv
SİMGELER	xvii
TABLO LİSTESİ.....	xixx
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1.Literatür Taraması	2
1.1.1. Yapılan çalışmalar	2
1.1.2. Literatür araştırmalarının değerlendirilmesi	6
2. İMALAT YÖNTEMLERİ	7
2.1. Temel İmalat Yöntemleri.....	7
2.1.1. Döküm	7
2.1.2. Plastik şekil verme.....	8
2.1.3. Toz metalurjisi.....	8
2.1.4. Talaşlı imalat	9
2.1.4.1. Talaş oluşumu.....	9
2.1.4.2. Talaş kaldırmada ısı oluşmu.....	10
2.1.4.3. Kesme kuvvetleri	11
2.1.4.4. Kesici takımlar.....	13
2.1.5. Geleneksel olmayan imalat yöntemleri	13
2.1.6. Kaynak	14
2.1.7. Eklemeli imalat	14
2.1.7.1. Eklemeli imalat aşamaları	15
3. TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ VE TAKIM TEZGAHLARI	17
3.1. Tornalama	17
3.1.1. Tornalama işleminde temel tanımlar	18
3.2. Tornalama Yöntemleri.....	20
3.2.1. Delik işleme	21
3.2.1.1. Takımın sehimli	21
3.2.2. Kesme ve kanal açma	22
3.2.3. Diş çekme.....	22
3.3. Torna Tezgahları	23
3.3.1. Üniversal torna tezgahları ve kısımları.....	23
3.3.2. CNC torna tezgahları ve kısımları.....	24
3.4. Frezeleme	25

3.4.1. Frezeleme işleminde temel tanımlar	25
3.4.2. Yaklaşma açısı ve talaş kalınlığı arasındaki ilişki	28
3.4.3. Kesici uçların yerleştirilmesi	29
3.5. Frezeleme Yöntemleri	30
3.5.1. Yüzey frezeleme	30
3.5.2. Cep frezeleme	31
3.5.3. Kontur frezeleme	32
3.5.4. Pah frezeleme	32
3.6. Freze Tezgahları	32
3.6.1. Üniversal freze tezgahları ve kısımları	32
3.6.2. CNC freze tezgahları ve kısımları	33
3.7. Delik Delme	34
3.7.1. Delik delme işleminde temel tanımlar	35
3.8. Delik Delme Yöntemleri	36
3.8.1. Dolu yüzeye delik delme	36
3.8.2. Baralama	36
3.8.3. Kademeli delik delme	37
3.8.4. Raybalama	37
3.9. Diğer Talaşlı İmalat Yöntemleri	37
3.9.1. Taşlama	38
3.9.2. Honlama	38
3.9.3. Broşlama	38
3.9.4. Dişli azdırma	38
4. YÜZEY KALİTESİ	39
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü	39
4.1.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri	40
4.1.2. Yüzey işaretlerinin gösterimi	42
4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü standartları	45
5. MATERYAL VE YÖNTEM	47
5.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	47
5.1.1. İş parçası	47
5.1.2. Takım tezgahı	48
5.1.3. Kesici takım ve kesici uçlar	50
5.1.4. Takım tutucular	54
5.1.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	56
5.2. Deney Tasarımı	57
5.2.1. Taguchi yöntemi	58
5.2.1.1. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi	58
5.2.2. Taguchi deney tasarımı aşamaları	61
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	67
6.1. Deney Sonuçları ve Optimizasyon	69
6.1.1. Optimizasyon	71
6.2. Deney Sonuçlarının Analizi	72
6.2.1. Deney grafikleri	73
6.3. Deney Sonuçlarının Tahmini Sonuçlar ile Karşılaştırılması	74
6.4. Doğrulama Deneylerinin Yapılması	76
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	80

7.2. Öneriler	80
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	87





KISALTMALAR

AA	: Alüminyum alaşımı
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
ANOVA	: Varyans analizi
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CNC	: Bilgisayarlı sayısal kontrol
EN	: Avrupa normu
G.A.	: Güven aralığı
JIS	: Japon Endüstri Standardı
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
SCM	: Çelik kompozit malzeme
S/N	: Sinyal/gürültü
STL	: Stereolitografi
TM	: Toz metalurjisi



SİMGELER

ae	: Radyal kesme derinliği
ap	: Talaş derinliği
C	: Karbon
D	: Çap
E	: Elastisite modülü
f	: İlerleme miktarı
Fe	: Demir
Fi	: İlerleme kuvveti
Fk	: Kesme kuvveti
Ft	: Talaş kaldırma kuvveti
fz	: Kesici uç başına ilerleme
hx	: Talaş kalınlığı
ks	: Malzemenin özgül kesme kuvveti
l	: Örnek uzunluk
L	: Takım uzunluğu
la	: Talaş genişliği
ln	: Ölçüm uzunluğu
Mn	: Mangan
n	: Devir
N	: Toplam deney sayısı
p	: Fosfor
r	: Doğrulama deneyi sayısı
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rm	: Maksimum profil derinliği
Rp	: Maksimum profil yüksekliği
Rq	: Yüzey pürüzlülüğünün karelerinin ortalama karekökü
Rmax	: Maksimum yüzey pürüzlülüğü
Rti	: Örnek uzunluktaki maksimum pürüzlülük değeri
Rz	: Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü

s	: Kesici uç kalınlığı
S	: Kükürt
s²	: Varyans
Si	: Silisyum
u	: Freze adımı
V	: Talaş hacmi
Vc	: Kesme hızı
Ve	: Hata varyansı
Vf	: İlerleme hızı
Yp	: Örnek uzunlukta artı yöndeki pürüzlülük değeri
Yv	: Örnek uzunlukta eksi yöndeki pürüzlülük değeri
z	: Kesici uç sayısı
κ	: Yaklaşma açısı
δ	: Sehim
Φ	: Matkap açısı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Ra ve Rq örnekleme uzunluğu ve ölçme uzunluğu	45
Tablo 4.2. Rz, Rt, Rp örnekleme uzunluğu ve ölçme uzunluğu	45
Tablo 5.1. GG25 dökme demirin kimyasal bileşenleri	47
Tablo 5.2. GG25 dökme demirin mekanik özellikleri	47
Tablo 5.3. Tezgah özellikleri	49
Tablo 5.4. Kaba freze takımı boyutları.....	50
Tablo 5.5. Finiş freze takımı boyutları.	51
Tablo 5.6. Kaba freze uç boyutları.....	53
Tablo 5.7. Finiş freze uç boyutları	54
Tablo 6.1. L18 ortogonal dizi	68
Tablo 6.2. Ortogonal dizi matrisindeki faktörler ve seviyeler	69
Tablo 6.3. Deney sonuçları.....	70
Tablo 6.4. Seviyelerin ortalama S/N değerleri ve deney sonuçlarına etki derecesi...71	
Tablo 6.5. Deney sonuçlarının ANOVA analizi.....	72
Tablo 6.6. Regresyon denklemleri	73
Tablo 6.7. Tahmini deney sonuçları.....	75
Tablo 6.8. Doğrulama deneylerinin sonuçları.	76



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Döküm yöntemi ile üretilmiş bazı makine parçaları.....	8
Şekil 2.2. TM ile üretilmiş bazı kesici takım örnekleri	9
Şekil 2.3. Metal kesme esnasında talaş oluşumu.....	10
Şekil 2.4. Tornalama esnasında ortaya çıkan ısılar	10
Şekil 2.5. Talaş açılarına göre tornada kesme çeşitleri.....	11
Şekil 2.6. Tornalamada kesme kuvvetleri.....	12
Şekil 2.7. Kesici takımların sertliklerine göre sıralanışı	13
Şekil 2.8. Eklemeli imalat ile parça üretim aşamaları	15
Şekil 3.1. Dört temel tornalama işlemi.	17
Şekil 3.2. Yaklaşma açısı ve ilerleme yönü ilişkisi	19
Şekil 3.3. Uç açıları	20
Şekil 3.4. Köşe radyüsü.	20
Şekil 3.5. L/D Oranı ve rijitlik ilişkisi.	21
Şekil 3.6. Dış hatvesi, ilerleme ve talaş derinliği.	23
Şekil 3.7. Üniversal torna tezgahı ve kısımları	24
Şekil 3.8. CNC torna tezgahı kısımları.	25
Şekil 3.9. Uç başına ilerleme.....	26
Şekil 3.10. Eksenel ve radyal kesme derinliği.	27
Şekil 3.11. Aynı yönlü ve ters yönlü frezeleme	28
Şekil 3.12. Yaklaşma açısı ve talaş kalınlığı.....	29
Şekil 3.13. Seyrek, sık ve çok sık yerleştirme.....	30
Şekil 3.14. Düzlem yüzeyler ve 90 derecelik faturalar	31
Şekil 3.15. Cep frezeleme.	31
Şekil 3.16. Pah frezeleme.....	32
Şekil 3.17. Üniversal freze tezgahı kısımları.	33
Şekil 3.18. CNC freze tezgahı kısımları.	34
Şekil 3.19. Devir, kesme hızı, ilerleme ve ilerleme hızı.....	39
Şekil 3.20. İlerleme uzunluğu.	36
Şekil 3.21. Farklı delik delme yöntemleri.....	37
Şekil 4.1. Örnek uzunluk ve ölçüm uzunluğu	40
Şekil 4.2. Aynı Ra değerine sahip farklı yüzey profil	41
Şekil 4.3. Rq değerinin gösterimi.	42
Şekil 4.4. Maksimum yüzey pürüzlülük değeri Rt, Rmax	42
Şekil 4.5. Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü Rz.	43
Şekil 4.6. Yüzey işleme işaretleri	43
Şekil 4.7. İşlem türüne göre yüzey işaretleri.....	44
Şekil 4.8. Tüm yüzeylerin gösterilmesinde kullanılan işaretler	44
Şekil 5.1. Ham ve işlenmiş parça görüntüleri	48
Şekil 5.2. İş parçasının fikstür üzerindeki yerleşimi	48

Şekil 5.3. CNC yatay işleme merkezi.....	49
Şekil 5.4. Kaba freze takımı	50
Şekil 5.5. Finiş freze takımı.....	51
Şekil 5.6. Kaba freze takımının tezgahdaki görüntüsü.....	52
Şekil 5.7. Finiş freze takımının tezgahdaki görüntüsü.....	52
Şekil 5.8. Takım ölçüm cihazı	52
Şekil 5.9. Kaba ve finiş freze uçları	53
Şekil 5.10. Kaba freze ucu.....	53
Şekil 5.11. Finiş freze ucu	54
Şekil 5.12. Takım tutucular	55
Şekil 5.13. Kaba freze takım tutucusu teknik resmi.....	55
Şekil 5.14. Finiş freze takım tutucusu teknik resmi	56
Şekil 5.15. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	56
Şekil 5.16. Prosesin genel modeli.	57
Şekil 5.17. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi	59
Şekil 6.1. Deneylerin optimum sonuçları	72
Şekil 6.2. İlerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	73
Şekil 6.3. Kesme hız ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	74
Şekil 6.4. İlerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	74
Şekil 6.5. Gerçek deney sonuçları ile tahmini deney sonuçlarının karşılaştırılması ..	76
Şekil 6.6. Proses parametrelerinin optimum değerleri ve tahmini değer.	77

GG25 PİK DÖKÜM MALZEMENİN TALAŞLI İMALATININ İNCELENMESİ

ÖZET

Talaşlı imalat yöntemi endüstride en sık kullanılan imalat yöntemidir. Dönen bir iş parçası üzerinden kesici takım ile talaş kaldırılır veya dönen bir kesici takım sabit duran iş parçası üzerinden talaş kaldırır. Farklı talaşlı imalat yöntemlerinin ortak nihai amacı ham iş parçası üzerinden kesici takım yardımıyla talaş kaldırmak ve istenilen ölçü ve boyutları sağlamaktır. Ölçü ve boyutsal özelliklere ek olarak tasarımcı imalatçıdan ürünün özelliklerine göre ürünün belirli yüzeylerinde bir hassasiyet ister. Bu yüzey hassasiyet yüzey kalitesi olarak tanımlanır. Talaşlı imalatta istenilen yüzey kalitesi değerine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler proses parametreleri ve prosesten bağımsız kullanılan kesici takım ve tezgaha bağlı faktörler de olabilir.

Bu çalışmada, talaşlı imalatta yüzey kalitesine etki eden proses parametreleri üzerinde deneysel araştırmalar yapılmıştır. Proses parametreleri olarak kesici takımın dönme yönü, kesme hızı, devir başına ilerleme ve talaş derinliği kullanılmıştır. Takımın dönme yönü olarak; eş ve zıt yönlü, kesme hızı olarak; 282m/dk, 314m/dk ve 342m/dk, devir başına ilerleme olarak; 0,15mm/devir, 0,40mm/devir ve 0,65mm/devir, talaş derinliği olarak; 0,2mm, 0,5mm ve 0,8mm kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda Taguchi yönteminden yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalar Taguchi'nin en küçük en iyidir fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve toplam 18 deney farklı faktörlerin farklı seviyelerinde yapılmıştır. Faktörlerin istatistiksel anlamlılıklarını ve deney çıktısı üzerindeki etkisini araştırmak için ANOVA uygulanmıştır. Kesme yönü ve devir başına ilerleme değerlerine bağlı olarak, regresyon denklemleri elde edilmiştir. Minitab 19 üzerinden her bir deneyin tahmini sonucu hesaplatılmış ve tahmini sonuçlar gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılarak deney modelinin geçerliliği araştırılmıştır. Taguchi metodu ile elde edilen optimum proses parametrelerine göre 10 adet doğrulama deneyi yapılmış ve doğrulama deneylerinin ortalama sonuçları, Minitab 19 üzerinden elde edilen ortalama tahmini değer ile karşılaştırılarak optimizasyon çalışmasının %95 güven aralığında geçerliliği araştırılmıştır.

Taguchi yöntemine göre zıt yönlü kesme, 282 mm/dk kesme hızı, 0,15 mm/devir ve 0,5 mm talaş derinliği optimum sonuçlar olarak bulunmuştur. ANOVA sonuçlarına göre yüzey kalitesi üzerindeki en etkili parametre devir başına ilerleme olarak bulunmuştur. Kesme hızı dışındaki tüm parametreleri istatistiksel olarak yüzey kalitesi üzerinde etkilidir. Tahmini deney sonuçları ile gerçek deney sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda deney modelinin geçerliliği R^2 değeri %91,4 olarak bulunmuştur. Optimum parametre değerleri ile yapılan doğrulama deneyleri sonuçlarına göre, optimizasyon çalışması %95 güven aralığında geçerli bulunmuştur.



INVESTIGATION OF THE MACHINING PROCESS OF GG25 CAST IRON MATERIAL

SUMMARY

Machining is the most commonly used manufacturing method in the industry. A lot of products are finalized with machining method after casting or forging. Unwanted chip is removed by the cutting tool on a rotating workpiece or a rotating cutting tool removes unwanted chips on the stationary workpiece. When the workpiece rotates it is named turning operation, when the cutting tool rotates it is named milling operation. The common goal of different machining methods is to remove the chips on the raw material with the help of the cutting tool and to provide the desired dimensions. During these operations, required energy is provided by CNC machines. Machining method involves a lot of difficulties. To overcome the difficulties and to procure correct part, machining process parameters must be selected correctly. In addition dimensional features the designer requires a precision on certain surfaces of the product according to the features of the product. This surface precision is defined as surface quality. There are many factors that effect the desired surface quality value in machining method. These factors can be process parameters and factors independent of the process, depending on the cutting tool and machine used. Main process parameters are cutting speed, revolutions per minute, feed rate and cutting depth. On the other hand, the desired tolerances and part quality may change depending on the cutting tool feature, the clamping pressure of the workpiece and the machine feature. The purpose of this study is having knowledge based on experimental data and to determine optimum process parameters values for mass production conditions. For this purpose, by using design of experiment method, both the optimum levels were determined and relationship between the parameters were examined on the surface quality.

The goal is to minimize the surface roughness value on the machined surfaces. A better surface has a possitive effect on the fatigue strength and corrosion resistance of the material. Especially for powertrains, slide bearings, pistons, sealing surfaces and control gauges a higher surface quality is desired. The desired surface roughness for the milling surface is Ra 3.2. Sampling length (l) and measurement length (l_n) were selected as 5 and as 12.5 respectively. Measuring speed was selected as 1mm/sn. Apart from the process parameters, the rigidity of machine, the clamping pressure of the raw material, cutting tool geometry, run out of tool holder, wearing of cutting inserts, cutting method (tool path), cutting fluid are effective on the surface roughness. Another important factor for surface roughness is to determine the process parameters according to the hardness of the cutting tool. For example, higher cutting speeds are required with ceramic cutting tools, while using lower cutting speed with carbide cutting tools provides a better surface quality.

In this study, experimental studies were carried out on the process parameters that effect the surface quality in machining. Cutting direction, cutting speed, feed per

revolution and cutting depth were used as process parameters. As cutting direction; climbing and conventional milling, as cutting speed; 282 m/min, 314 m/min and 342 m/min as feed per revolution; 0.15 mm/rev, 0.40 mm/rev and 0.65 mm/rev as cutting depth; 0.2 mm, 0.5 mm and 0.8 mm were used. The selected values were taken from the used cutting tools catalog. Since finish milling is the last operation, experimental studies were carried out by changing machining parameters of Ø50 cutting tool. For rough milling operation, fixedly 1500 rpm and 0,8 mm/rev were selected as cutting conditions. Experiment parts were machined both in rough milling operations and in finish milling operations under dry condition. GG25 cast iron material was used as test material. In order to minimize effect of wearing cutting inserts on experiment results, rough and finish cutting inserts were changed before each experiment. Before the experiments, the run out of rough and finish tool was controlled with the help of the comparator.

The Taguchi method was used in the experimental studies. Taguchi method aims the best results with minimum number of experiments and considers S/N ratios. Numerical experiment results are converted to S/N ratio. S means that, it can be controlled parameters such as cutting direction, cutting speed, feed rate and cutting depth for machining method. N means that, it can not be controlled parameters such as temperature, vibration and dust. The goal in Taguchi method is to minimize N values. Totally, Taguchi method involves 3 functions according to output type. These are larger is better, nominal is best and smaller is better. Since surface roughness output is desired to be minimum on the part, Taguchi's smaller is better function was used for this study. According to mixed Taguchi design ($2^1 \times 3^3$) totally 18 experiments were performed at different levels of different factors. For all levels of all parameters, S/N ratios were found and the biggest S/N ratios were admitted optimum values. ANOVA was carried out in order to investigate the statistical significance of the factors and their effect on the experimental output. For every parameters, P value was found. Parameters of P value that is smaller than 0,05 were admitted statistically significant. The smaller P value, the more to reject the H_0 hypothesis. H_0 hypothesis means that, the parameter is not statistical significance on the experiment output. Additionally, the percentage effects of the parameters on the experiment output were determined. Depending on the cutting direction and feed per revolution, the regression equations were obtained. The estimated results of each experiment were calculated by Minitab 19 and the validity of the experimental model was investigated by comparing the estimated results with the actual experimental results. According to the optimum process parameters obtained by the Taguchi method, 10 validation experiments were carried out and the average results of the validation experiments were compared with the average estimated value obtained by Minitab 19, and the validity of the optimization study was investigated at the 95% confidence interval.

Conventional cutting direction, 282 mm/min cutting speed, 0.15 mm/rev and 0.5 mm cutting depth were found as optimum results according to the Taguchi method. According to the ANOVA results, the most effective parameter on the surface quality was found feed per revolution as %53,11. All process parameters except cutting speed were found statistical significance on surface quality. As a result of the comparison of the estimated experimental results with the actual test results, the validity of the experimental model was found as %91.4. According to the results of the validation experiments performed with the optimum parameter values, the optimization study was found valid at the %95 confidence interval.

Experiment results show that, the most important parameter on surface roughness is feed rate. As feed rate value decreases, lower surface roughness values are found. However, low feed rate value causes more wear on cutting inserts because inserts contact the workpiece longer time which means that, cost of cutting insert and machining time increase. Therefore, in order to determine process parameters for serial conditions, technical drawings must be analyzed well.



1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile imalat sektöründe müşteri beklentileri her geçen gün artmaya devam etmekte ve imalatçılar bu beklentileri en ekonomik şekilde karşılamaya çalışmaktadırlar. Rekabet ortamında başarıya ulaşmak isteyen işletmeler öncelikle müşteri isteklerini iyi anlamalı ve bu istekleri yerine getirebilmek için en doğru imalat yöntemini seçmelidirler. Yanlış yöntem hem istenilen kalitede parça imalatına engel olur hem de ekonomik olarak işletmeleri zarara uğratar.

Döküm, dövme, haddeme ve benzeri yöntemlerle imal edilen parçalar genellikle son biçim ve boyutlarına talaşlı imalat yöntemleri ile getirilirler. Metal parçalara istenilen son biçimler verilip kullanılabilir hale gelmeleri için uygulanan mekanik işlemlerin tümünün talaş kaldırmayı gerektirdiği düşünülürse, ekonomik talaş kaldırmanın önemi ortaya çıkmaktadır (Ateş, 2006). İşlenecek ham parça geometrisi, ölçü ve yüzey hassasiyetine bağlı olarak talaşlı imalat yöntemlerinden en doğru olanı seçilmelidir. Doğru talaşlı imalat yöntemini doğru proses parametreleri izlemelidir. Talaşlı imalat kesme hızı, devir, ilerleme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesme yönü, kesici takım kaplama türü ve kalitesi, takım tutucu sistemleri, kesici takımın yaklaşma açısı, parça sıkma basıncı gibi işlenen parçanın kalitesine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. İmalatçı, teknik resim üzerinden müşterinin isteklerini anlayıp ham parçaya göre talaşlı imalat yöntemini ve talaşlı imalat boyunca kullanacağı parametreleri doğru belirlemeli ve müşteri isteklerini karşılamalıdır.

Yüzey kalitesi, özellikle sızdırmazlığın gerekli olduğu ve yorulma dayanımının yüksek olması istenen yüzeyler için önemli bir ürün özelliğidir. Talaşlı imalat boyunca istenilen yüzey kalitesinin sağlanabilmesi için proseste etkili olan parametreler doğru belirlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. Daha hassas yüzeyler istenilmesi halinde taşlama, honlama, lepleme gibi talaşlı imalat yöntemleri parçaya uygulanır.

Bu çalışmada talaşlı imalat proses parametrelerinden kesme yönü, kesme hızı, devir başına ilerleme ve talaş derinliğinin GG25 pik döküm malzemede yüzey kalitesine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deney yöntemi olarak Taguchi ve ANOVA

kullanılmıştır. Deneylerde eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme işlemleri farklı proses parametreleri değerlerinde yapılmıştır. Deney çıktısı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri olan Ra kullanılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Talaşlı imalat ile üretilen ürünlerde iyi bir yüzey kalitesi isteği kaçınılmaz hale gelmiştir. Yüzey kalitesine etki eden kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi parametreler birçok firmada operatörlerin tecrübesine göre veya kesici takım kataloglarına göre seçilir. Fakat kesici takım kataloglarında proses parametreleri için verilen değer aralıkları çok yüksektir. Bu değer aralıklarının yüksek olmasının nedeni proses parametreleri değerlerinin malzeme ve takım çapı gibi etkenlerin dışında takım tezgahına da bağlı olmasından kaynaklıdır. Tezgahın rijitliği, vidalı millerinin, kızaklarının durumu proses parametresi seçiminde önemli kriterlerdir. Kesici takım üretici firmaları imalatçının kullanacağı tezgahın durumunu bilemeyeceği için kataloglarda proses parametrelerinin değer aralıklarını yüksek tutmuştur. Bu durumda kullandığı tezgahın özelliklerini bilen operatörler tarafından proses parametreleri tecrübe ile seçilir. Araştırmacılar parametre seçimini kişiye bağlı olmaktan çıkartıp, veriye dayalı sonuçlar elde ederek seçim yapabilmek için bu konuda deneysel çalışmalar yapmışlardır.

1.1.1. Yapılan çalışmalar

Thamizhmanii ve ark., SCM 400 malzemenin kuru ortamdaki tornalama işleminde kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Kesme hızı ve ilerleme için 3 değer, talaş derinliği için 2 değer kullanılmıştır. Taguchi metoduna göre toplam 18 deney yapılmış ve istatistiksel olarak anlamlı parametre talaş derinliği olarak bulunmuştur.

Thakre, çalışmasında Taguchi yaklaşımı ile yüzey pürüzlülüğünü minimuma indirmek için frezeleme işlemindeki parametreleri optimize etmeyi amaçlamıştır. Frezeleme parametreleri olarak devir, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme sıvısı debisi kullanmıştır. Her parametre için 3 değer kullanılmış ve toplam 9 deney yapılmıştır. ANOVA sonuçlarına göre kesme sıvısı debisi %60,69 oranında en etkili parametre olarak bulunmuştur (Thakre, 2013).

Nas ve Özbek, sertleştirilmiş sıcak iş çeliğinin tornalanmasında proses parametrelerini takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından optimize etmeyi amaçlamıştır. Her iki deney çıktısı için de kesme hızı, ilerleme ve kesici takım türü kullanılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme için 3 değer, kesici takım türü için 2 değer kullanılmış ve toplam 18 deney yapılmıştır. Takım aşınması açısından kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü açısından ilerleme, en etkili parametreler olarak bulunmuştur. Kesici takım türüne göre takım üzerindeki aşınma miktarı ve yüzey pürüzlülüğü değeri için regresyon denklemleri elde edilmiştir. Özellikle ilerleme değerinin düşürülmesiyle, yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Nas ve Özbek, 2019).

Özsoy, yaptığı çalışmada T6 alüminyum alaşımının parmak freze ile frezelenmesi işlemi için proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Parametre olarak devir, uç başına ilerleme ve soğutma türü seçilmiştir. Devir ve uç başına ilerleme için 3 değer, soğutma tipi için 2 değer kullanılmış ve toplam 16 deney yapılmıştır. ANOVA sonuçlarına göre, uç başına ilerleme yüzey pürüzlülüğü üzerinde %66,46 olarak en etkili parametre olarak bulunmuştur. Soğutma türüne göre, devir ve uç başı ilerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemleri çıkartılmıştır (Özsoy, 2019).

Akgün ve Kara, AA 6061 alaşımının tornalama işleminde kesici takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Proses parametreleri olarak takım kaplamasına ilave olarak kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği kullanılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak toplam 18 deney yapılmıştır. Kaplamasız kesici takımlar ile yapılan deney sonuçlarında kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri, PVD kaplamalı takım ile yapılan deney sonuçlarından elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha düşük bulunmuştur. İlerleme değerinin azalmasıyla hem kesme kuvveti için hem de yüzey pürüzlülüğü için daha düşük değerler elde edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametreler %64,28 oranı ile ilerleme ve %27,18 oranı ile kesici takım kaplama türü olarak bulunmuştur. Deneylerden elde edilen optimum proses parametrelerinin değerleri kullanılarak 1 adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deneyi sonucu tahmini deney çıktıları ile karşılaştırılmış ve deney modeli %95 güven aralığında kabul edilmiştir (Akgün ve Kara, 2021).

Hussain ve Tiwari, EN8, EN24, EN31 ve EN47 malzemenin tornalama işleminde devir, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Her parametre için 4 değer kullanılmış ve toplam 16 deney yapılmıştır. Daha yüksek devir ve talaş derinliği ile birlikte daha düşük ilerleme değeri kullanılarak daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Deney çıktısı üzerindeki en etkili parametreler sırasıyla %48,17 oranı ile devir, %42,54 oranı ile ilerleme olarak bulunmuştur (Hussain ve Tiwari, 2020).

Baharudin ve ark., AL6061 alaşımının frezelenmesini Taguchi metodu ile deneysel olarak incelemiştir. Parametre olarak devir, ilerleme ve eksenel talaş boşluk açısı kullanmışlardır. Negatif, nötr ve pozitif talaş boşluk açısı ile devir ve ilerleme için de 3 farklı değer kullanılarak toplam 9 deney yapılmıştır. Yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve nötr (0 derece) boşluk açısında en düşük yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir (Baharudin ve ark., 2012).

Bozkurt, AA705 T651 alüminyum alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Kesme parametreleri olarak 4 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme değeri ve 3 farklı talaş derinliği kullanılmıştır. Deney çıktısı olarak yüzey pürüzlülüğü, silindiriklik, dairesellik ve doğrusalılık değerleri incelenmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve geometrik toleransların da (silindiriklik, dairesellik ve doğrusalılık) arttığı gözlemlenmiştir. İlerlemenin kesme hızına ve talaş derinliğine oranla deney çıktıları üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Bozkurt, 2019).

Can, farklı kaplama cinsindeki kesici uçlar ile AISI 5140 çeliğinin tornalama işleminde kesme parametreleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Talaş derinliği ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre ilerleme olarak bulunmuştur. Kesme hızının ve uç radyüsünün artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmüştür. Uç radyüsü 1,2 mm olan numunelerde kesme hızındaki artışla ve düşük talaş derinliğinde, $r=0,8$ mm uç radyüslü takım ile işlenen numunelerden daha düşük yüzey pürüzlülük değeri beklenirken, tersi gerçekleşmiştir. Bunun nedeni uç radyüsünün talaş derinliğinden yüksek olduğu tornalama işlemlerinde radyal yöndeki kuvvetlerin artarak iş parçası üzerinde titreşimlere ve

tırlamalara sebep olup, yüzey pürüzlülük değerlerini yükseltmesidir. Bu yüzden finiş operasyonları $r=0,4$ mm kesici uçlarla ve yüksek kesme hızlarında yapılması önerilmiştir. Kaplamasız takımlar ile işlenen numunelerde daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur (Can, 2003).

Nas, frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. AISI 1050 çeliğine kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak alın frezeleme işlemi uygulanmıştır. 5 farklı kesme hızı, 3 farklı talaş derinliği ve 3 farklı ilerleme değeri kullanılarak kuru ortamda deneyler yapılmıştır. Kesici takım üzerindeki uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için deneylerde farklı sayılarda kesici uç ($z=1, z=2, z=3, z=6$) kullanılmıştır. Kesici uç sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri düşerken, talaş derinliğinin artmasıyla daha yüksek yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur (Nas, 2008).

Karamusaoğlu, GGG60 malzemenin tornalanmasında kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneylerde standart uç geometrisi ve wiper (silici) uç geometrisi kullanılmıştır. Her geometri için üç farklı uç radyüsü (0,4, 0,8 ve 1,2 mm) kullanılmıştır. İş parçalarına 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme ve sabit 1 mm talaş derinliğinde tornalama deneyleri yapılmıştır. Düşük ve yüksek uç radyüsüne sahip wiper geometrili uçlarda kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde kararlı bir düşüş görülmüştür. Uç radyüsünün 1,2 mm olan wiper ve standart geometriye sahip uçlar kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, 0,4 mm ve 0,8 mm radyüse sahip wiper ve standart geometrili uçlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha yüksektir. Bunun sebebi deneylerde sabit 1 mm talaş derinliği kullanılması ve bu değer üzerinde radyüse sahip bir uç kullanıldığında titreşimden dolayı yüzey pürüzlülük değerinin yükselmesi olarak yorumlanmıştır (Karamusaoğlu, 2009).

Yılmaz, Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Deneyler, CNC dik işleme merkezinde farklı radyüse sahip kesici uçlar ile yapılmıştır. İlerleme miktarı, kesme hızı, talaş derinliği ve kesici uç radyüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için toplam 54 deney yapılmıştır. Bütün kesme şartlarında ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ilerlemenin

artmasıyla kesici takımın bir tam devirde kaldırması gerekeceği talaş miktarının artması olarak yorumlanmıştır. Kesici uç radyüsünün artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri düşmüştür. Kesme hızının artmasıyla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Talaş derinliği ile yüzey pürüzlülük değeri arasında doğru orantı olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en fazla etkiyi yapan parametreler sırasıyla ilerleme, kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliği olmuştur (Yılmaz, 2010).

1.1.2. Literatür araştırmalarının değerlendirilmesi

Literatür araştırmaları, talaşlı imalatın en sık kullanılan tornalama ve frezeleme yöntemleri için yüzey pürüzlülüğünün incelendiğini göstermiştir. Her iki yöntemde de ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olduğu görülmüş ve ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin bir miktara kadar iyileştiği fakat bir miktardan sonra yüzey pürüzlülük değerinin tekrar yükseldiği görülmüştür. Talaş derinliği ile kesici uç radyüsü arasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir ilişki olduğu anlaşılmıştır.

2. İMALAT YÖNTEMLERİ

Ürünlerin istenilen son haline gelmesi ham malzemenin üretimi ile başlar. Tasarım, üretim ve kontrol işlemlerinden sonra kullanılabilir hale gelirler. Bu durumda tasarım, malzeme ve imalat birbiri ile koordineli parametrelerdir.

İmalat sistemleri, istenilen ürünün elde edilebilmesi için gerekli olan işlemler bütünüdür. Esas amaç istenilen boyutsal, geometrik ve yüzeysel şartlarda parça üretimi yapabilmek ve üretimi yapılan parçanın montaj edildiği yer sorunsuz çalışabilmesidir (Aydın ve ark., 2022).

2.1. Temel İmalat Yöntemleri

- Döküm
- Plastik şekillendirme
- Toz metalurjisi
- Talaşlı imalat
- Geleneksel olmayan yöntemler
- Kaynak
- Eklemeli imalat

2.1.1. Döküm

Metallerin sıvı haldeki sahip oldukları yüksek şekil alabilmeleri kabiliyetlerinden yola çıkılan bu yöntem, önceden hazırlanmış kalıpların içerisinde eritilmiş metallerin dökülmesi ve katılaşma işlemidir. Dövme ve talaş kaldırma işlemleri ile üretimi mümkün olmayan parçaların (motor blokları, krank milleri, radyatörler gibi) üretimini yapmak bu yöntem ile mümkündür (Aydın ve ark., 2022) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Döküm yöntemi ile üretilmiş bazı makine parçaları (Aydın ve ark., 2022).

2.1.2. Plastik şekil verme

Deformasyon, bir malzemenin kuvvet uygulanarak boyut ve şekil değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Deformasyon işlemi iki şekilde meydana gelir.

- Elastik deformasyon
- Plastik deformasyon

Elastik deformasyon, geçici şekillendirme olup malzeme üzerindeki kuvvet kaldırılınca malzeme eski haline döner.

Plastik deformasyon ise kalıcı bir şekillendirme olup, malzeme üzerindeki kuvvet kaldırılınca malzeme eski haline dönmez. Malzeme plastik deformasyon altında basma, çekme ve kayma gerilmelerine maruz kalır.

Plastik şekil verme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Döverek şekillendirme
- Basma ve çekme şartlarında şekillendirme
- Çekerek şekillendirme
- Bükerek şekillendirme

2.1.3. Toz metalurjisi

Toz metalurjisi, metal veya metal dışı tozların birçok işlemten geçirilerek mühendislik parçalarının üretilmesini sağlayan bir yöntemdir. Parça üretimi toz üretimi ile başlar. Elde edilen tozların şekillendirilmesi, test edilip ürün haline getirilmesi bir dizi aşamadan geçerek gerçekleşir. Tozun istenilen şekillerde ve boyutlarda üretilmesi için

gerekli aşamalar; toz hazırlama, toz sıkıştırma, sinterleme, yağ emdirme olarak sıralanabilir.

Toz metalurjisi ile üretilmiş tozların ve metal toz parçalarının en önemli kullanım alanlarından biri de talaşlı imalatıdır. Bu yöntem ile üretilen sert metallerin %70'i kesici takımlarda kullanılırlar (Aydın ve ark., 2022). Bu yöntem ile üretilmiş kesici takımlar Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. TM ile üretilmiş bazı kesici takım örnekleri (Aydın ve ark., 2022).

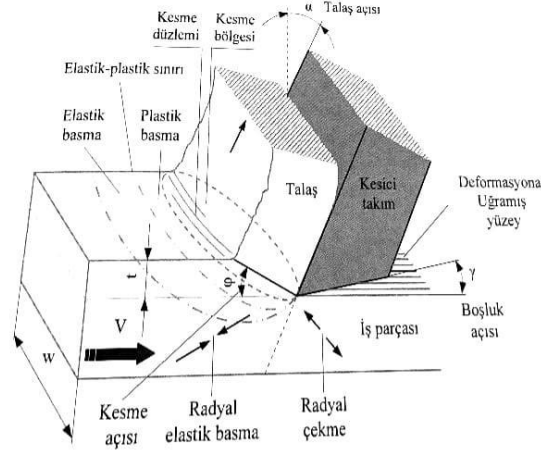
2.1.4. Talaşlı imalat

Metallerin yüzeyinden talaş kaldırarak işlenmesi yöntemi temel bir imalat yöntemi olup, çok yaygın kullanılır. Çok fonksiyonlu bir makine elemanın ilk üretim yöntemi dövme veya döküm olup bu işlemleri talaşlı imalat takip eder.

2.1.4.1. Talaş oluşumu

Talaş kaldırma, çeşitli takım tezgahlarında kesici takımlar vasıtasıyla iş parçası üzerinden malzeme kaldırarak talaş şeklinde atılmasıdır. Kesme çeşitleri takım hareketlerine göre; doğrusal kesme, dönel kesme ve bileşik veya helisel kesmedir.

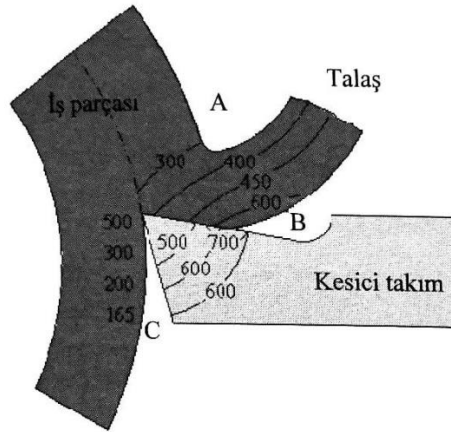
Kesme işleminde kesici takımın iş parçası yüzeyine temas ettiği anda kesme bölgesinde talaşlar oluşmaya başlar. Kesme düzleminde oluşan talaş, kesici takımdan ayrılırken takımın ön yüzeyine sürtünerek yukarıya doğru hareket eder ve iş parçasından ayrılır. Talaşın ayrılmaya başlamasıyla kesme düzleminin ön tarafında plastik basma oluşmaya başlar. Plastik basma sıcaklığı yükselen metalde deformasyon sertleşmesi meydana getirir. Deformasyon sertleşmesi en yüksek düzeye ulaştığında plastik deformasyon oluşmaya başlar ve malzeme kesilir (Aydın ve ark., 2022). Şekil 2.3'te talaş oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Metal kesme esnasında talaş oluşumu (Aydın ve ark., 2022).

2.1.4.2. Talaş kaldırmada ısı oluşumu

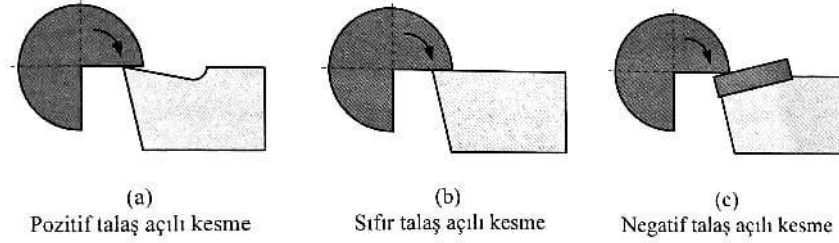
Talaş kaldırmada takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı yüksek ısılar meydana gelir. Bu ısının büyük bir kısmı soğutma sıvısıyla azaltılır. Isı oluşumu azaltılamazsa bazı kesici takımlar sertliklerini kaybederek çabuk aşınmaya başlarlar. Seramik kesici takımlar ise yüksek kızıl sertlikleri sayesinde yüksek ısılarda dahi sertliklerini kaybetmezler. A bölgesinde meydana gelen ısının nedeni plastik deformasyondur. B ve C bölgelerinde meydana gelen ısı sürtünme kaynaklıdır. Şekil 2.4'te tornalama işleminde iş parçası ve kesici takımda oluşan ısı dağılımını gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tornalama esnasında ortaya çıkan ısılar (Aydın ve ark., 2022).

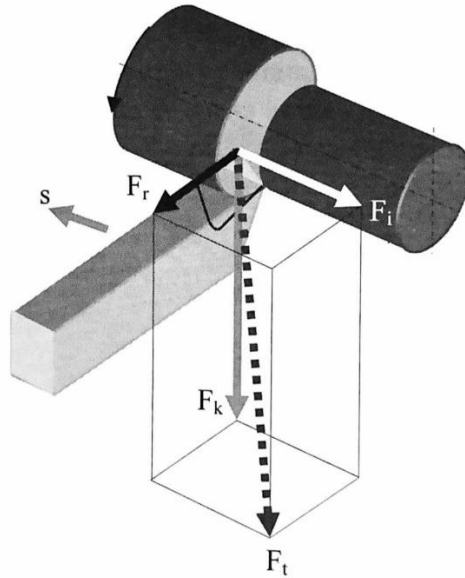
2.1.4.3. Kesme kuvvetleri

Tornalama işleminde üç çeşit kesme işlemi vardır. Pozitif talaş açılı kesme, sıfır talaş açılı kesme ve negatif talaş açılı kesmedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Talaş açılına göre tornada kesme çeşitleri (Aydın ve ark., 2022).

Pozitif açılı kesimde kesici takım iş parçasına daha kolay batar ve kesim daha kolaydır. Fakat uç mukavemeti düşük olduğu için daha kolay aşınabilir ve hatta kırılabilir. Sıfır talaş açılı kesimde kesici takım iş parçasına daha zor batar. Negatif açılı kesimde ise kesici takım iş parçasına çok zor batar ve kesim çok daha zordur. Fakat kesme ucu mukavemeti yüksek olduğu için takım aşınması daha zordur. Kesme kuvvetlerini ilerleme, talaş derinliği ve talaş açısı etkiler (Aydın ve ark., 2022). Şekil 2.6'da tornalama işleminde ortaya çıkan kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Tornalamada kesme kuvvetleri (Aydın ve ark., 2022).

Talaş kaldırma kuvveti ve kesme kuvveti aşağıdaki eşitlikler (Denklem 2.1, Denklem 2.2) kullanılarak hesaplanır.

$$F_t = \sqrt{F_k^2 + F_i^2 + F_r^2} \quad (2.1)$$

F_t : Talaş kaldırma kuvveti (Bileşke kuvvet)

F_k : Kesme kuvveti

F_i : İlerleme kuvveti

F_r : Radyal kuvvet

$$F_k = a \cdot s \cdot k_s \quad (2.2)$$

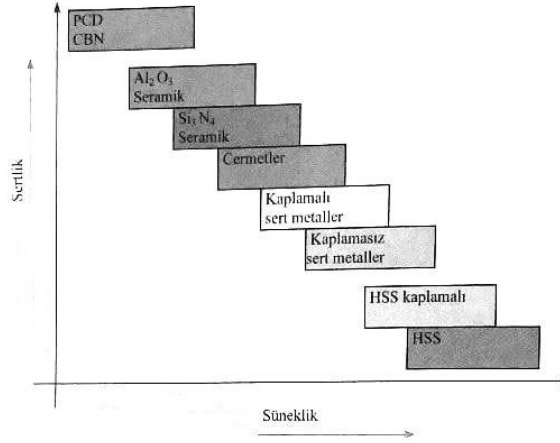
a : Talaş derinliği

s : İlerleme

k_s : Malzemenin özgül kesme kuvveti

2.1.4.4. Kesici takımlar

Günümüzde mekanik özellikleri çok farklı takımlar kullanılmaktadır. Genel olarak kesici bir takımdan beklenen özellikler; yüksek sertlik, tokluk, kızıl sertlik, yüksek aşınma dayanımı ve ekonomik olma olarak sıralanabilir. Bu özelliklerin hepsinin bir takımda olması mümkün değildir. İmalatta tüm kriterler (işlenecek malzeme özellikleri, tezgahın durumu, soğutma sıvısı basıncı, iş parçası sıkma kuvvetleri, işleme süresi vb.) göz önüne alınarak en uygun kesici uç seçimi yapılmalıdır. Şekil 2.7’de talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların sertliklerine göre sıralanışı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kesici takımların sertliklerine göre sıralanışı (Aydın ve ark., 2022).

2.1.5. Geleneksel olmayan imalat yöntemleri

Metallerin talaşlı imalat ile işlenmesi sırasında kullanılan kesici takımların işlenen parçadan her zaman daha sert olması hedeflenmiştir. Bu durum, kesici takımların sürekli olarak geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkartmıştır.

Talaşlı imalat, çoğu zaman yüksek enerji gerektiren pahalı ve zor bir yöntemdir. Çeşitli yönlerde ve büyüklüklerde oluşan kesme kuvvetlerinin karşılanabilmesi için parçanın iyi bir biçimde tezgaha bağlanması gereklidir. Bu da sadece tezgah ve kesici takım değil ilave olarak fikstür maliyeti de ortaya çıkartmıştır. Geleneksel talaşlı imalat yönteminin bazı sınırları vardır. Az miktardaki bu sınırlara rağmen birçok parçanın üretilmesi geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle mümkün olmayabilir. Bu nedenle alternatif olarak yeni talaş kaldırma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler dört gruba toplanabilir (Aydın ve ark., 2022).

- Kimyasal işleme
- Elektrokimyasal işleme
- Mekanik işleme
- Termal işleme

2.1.6. Kaynak

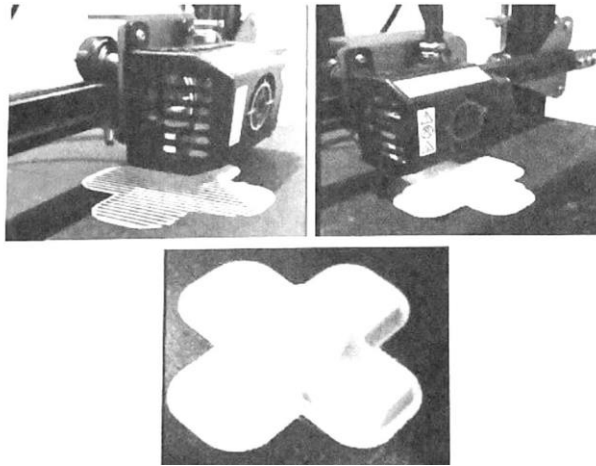
Bağlantı elemanları, kullanım durumlarına göre sökülebilen ve sökülemeyen birleştirmeler olarak iki gruba ayrılırlar. Sökülemeyen bağlantı yöntemleri; kaynak, perçinle birleştirme, lehimleme olarak sıralanabilir. Sızdırmazlığın önemli olduğu

birçok uygulamada kaynak yöntemi kullanılır. Bütün kaynaklı birleştirmelerde belirli bir ısıya ihtiyaç vardır ve bu ısı sayesinde kaynaklı birleştirmeler gerçekleştirilir. Isı uygulandığında malzemelerde ergime meydana geliyorsa ergitmeli kaynak yöntemi, ergime meydana gelmiyorsa ergitmesiz kaynak yöntemi olarak adlandırılır (Aydın ve ark., 2022).

2.1.7. Eklemeli imalat

Teknolojinin hızla gelişmesiyle katmanlı imalat veya eklemeli imalat adı verilen nesnelerin 3 boyutlu imalatı hayatımıza girmiş oldu. Bu nedenle üretim yöntemleri artık en genel olarak 3 kısımda toplanabilir. Talaşsız imalat, talaşlı imalat ve eklemeli imalat.

Eklemeli imalatta parçanın tamamı katmanlar halinde üst üste eklenerek elde edilir. Basit olarak adlandırılabilen parça tasarımlarından daha karmaşık şekilli uçak, otomobil parçaları gibi çeşitli ürünler üretilebilmektedir. Geleneksel imalat yöntemlerinde iş parçasından malzeme kaldırılır. Eklemeli imalat ise istenilen malzemenin geometrisine göre birleştirilerek nihai son halini alması prensibine dayanır. Döküm veya enjeksiyon yöntemlerinden en büyük farkı bir kalıba gerek duyulmamasıdır (Aydın ve ark., 2022). Şekil 2.8’de eklemeli imalat aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Eklemeli imalat ile parça üretim aşamaları (Aydın ve ark, 2022).

2.1.7.1. Eklemeli imalat aşamaları

Eklemeli imalat yönteminde üretimini yapmak istediğiniz parçanın öncelikle 3 boyutlu çiziminin oluşturulması gereklidir. CAD programları ile oluşturulan 3 boyutlu nesneler dilimleme programları kullanılarak dilimlenir ve imalat süreci boyunca ardışık katmanlar şeklinde devam ederek ürün tamamlanır (Aydın ve ark., 2022).

Eklemeli imalat aşamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- CAD dosyalarının oluşturulması
- STL uzantılı dosyaya dönüştürme
- Dilimleme yazılımı kullanımı
- Katman dilimleri
- 3 boyutlu yazdırma
- 3 boyutlu nesne



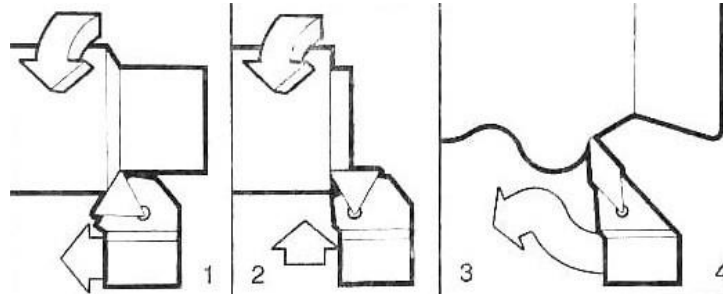
3. TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ VE TAKIM TEZGAHLARI

En sık kullanılan talaşlı imalat yöntemleri tornalama ve frezeleme olarak sıralanabilir. Bunun dışında özel delik delme yöntemleri, diş açma yöntemleri ve hassas yüzey istenilen parçalarda kullanılmak üzere taşlama ve honlama yöntemleri bulunmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için enerji şarttır ve bu enerji takım tezgahlarından sağlanır. Başlıca takım tezgahları tornalama tezgahları, frezeleme tezgahları, özel delik delme tezgahları, özel diş açma tezgahları ve yüzey işlemlerde kullanılan taşlama ve honlama tezgahları olarak sıralanabilir.

3.1. Tornalama

Tornalama, tek uçlu bir takım ile yapılan dairesel parçalar imal eden birçok durumda kendi ekseninde dönen bir iş parçası ve sabit kesici takımın kullanıldığı en yaygın talaşlı imalat yöntemidir. Takım uygulamalarını daha anlaşılır hale getirebilmek için tornalama işlemleri dört ana gruba ayrılabilir (Şekil 3.1).

- Boyuna tornalama
- Alın tornalama
- Açılı kopya tornalama
- Profil tornalama



Şekil 3.1. Dört temel tornalama işlemi (Çakır, 2018).

Tornalama işlemi, iş parçasının dönme hareketi ve takımın ilerleme hareketinden meydana gelen iki hareketin kombinasyonudur. Takım iş parçası eksenini boyunca ve iş parçası merkezine doğru ilerleme hareketleri yapabilir. Bu iki yönün kombinasyonu olan takım ilerlemeleri sayesinde konik ve eğrisel yüzeyler elde edilebilir (Çakır, 2018).

3.1.1. Tornalama işleminde temel tanımlar

Devir (n): Bir torna tezgahında iş parçasının kendi ekseninde bir dakikada attığı tur sayısıdır (dev/dk).

Kesme hızı (V_c): Kesici takımın iş parçası çevresinde bir dakikada metre cinsinden aldığı yoldur (m/dk). Bu hız, talaş kaldırılan çapta kesici kenardan geçen iş parçası çevresinin hızıdır.

Gerçek kesme hızının hesaplanabilmesi için işlenen çaptaki iş parçasının çevresi($\pi \times D$) ile devir sayısının çarpılması gerekir. Devir sayısı ile işlenen iş parçası çevresindeki kesme hızı arasında bir bağıntı (Denklem 3.1) vardır. Uygulamalarda çap ölçüsü milimetre cinsinden verildiği için kesme hızının birimini m/dk cinsinden ifade edebilmek adına işlem sonucu 1000'e bölünür. Birçok modern CNC torna tezgahında takım parça eksenini boyunca hareket ettikçe yani çap azaldıkça artan devir sayesinde sabit bir kesme hızında işlem gerçekleştirilebilir.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (3.1)$$

V_c: Kesme hızı

n: Devir

D: İş parçası çapı

İlerleme miktarı (f): İş parçasının bir devrinde takımın ilerleme miktarıdır (mm/dev).

İlerleme hızı (V_f): Takımın iş parçasına üzerinde doğrusal yönde bir dakikada mm cinsinden aldığı yoldur (mm/dk). İlerleme hızı aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.2) hesaplanır.

$$V_f = f \times n \quad (3.2)$$

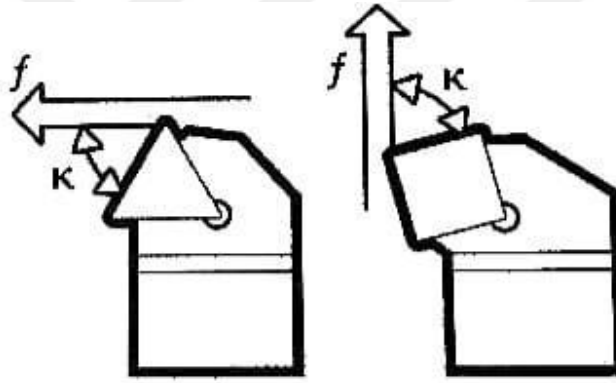
V_f : İlerleme hızı

f : İlerleme miktarı

n : Devir

Talaş derinliği (a_p): Kesici takımın bir tam geçişte iş parçası üzerinden kaldırdığı malzeme miktarıdır.

Yaklaşma açısı (κ): Kesici kenar ile iş parçası arasındaki açıdır. Yaklaşma açısı talaş oluşumunu, kesme kuvvetlerinin yönünü, kesime katılan kesici kenarın uzunluğunu, kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas alanını etkiler. Yaklaşma açısı, kesici takımın farklı yönlerde talaş kaldırmasına izin vererek işlemler için takım sayısını azaltacak şekilde seçilmelidir (Çakır, 2018). Şekil 3.2’de yaklaşma açısı ile takımın ilerleme yönü arasındaki ilişki gösterilmiştir.

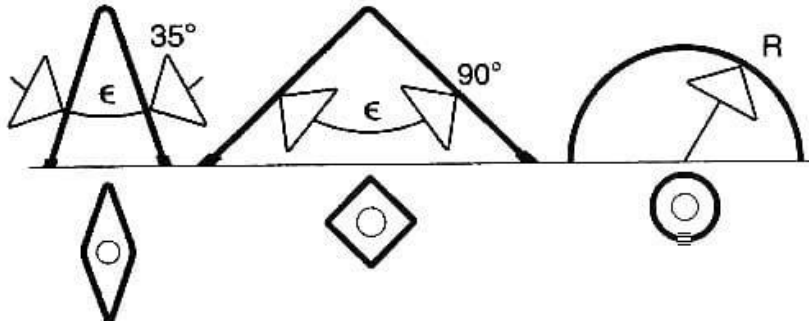


Şekil 3.2. Yaklaşma açısı ve ilerleme yönü ilişkisi (Çakır, 2018).

Talaş genişliği (l_a): Kesici kenarın kesime katılan uzunluğudur.

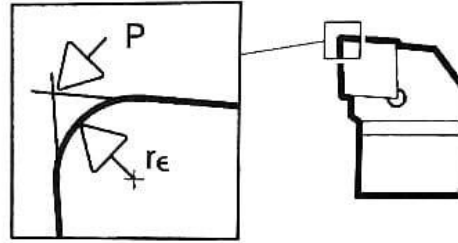
Talaş kalınlığı (h): Kesici kenar üzerinden ölçülür. Ana kesici kenar boyunca kesime diktir.

Kesici uç açısı: Kesici ucun açısı uç mukavemetini belirler. Özel imal edilen uçlar dışında bu açı genellikle 35° - 90° arasında değişir (Şekil 3.3). İki kesici kenarı birleştiren noktanın sadece kesme işlemini gerçekleştirecek kadar dayanıklı olması değil, aynı zamanda kesme işlevini yerine getirecek geometride olması gereklidir.



Şekil 3.3. Uç açıları (Çakır, 2018).

Köşe radyüsü (r_e): Teorik bir P noktasında birleşen iki kenara teğet olan noktadır (Şekil 3.4). Köşe radyüsü kesici uca mukavemet kazandırır. Büyük bir köşe radyüsü birim kenar uzunluğuna daha düşük basınç ve düşük ısı oluşumu gibi avantajlar sağlamaktadır. Ancak keskin bir uca göre büyük köşe radyüsüne sahip kesici takımlar talaş kaldırma işlemi için daha büyük güce ihtiyaç duyarlar. Köşe radyüsünün artması titreşim eğilimlerini de artırır (Çakır, 2018).



Şekil 3.4. Köşe radyüsü (Çakır, 2018).

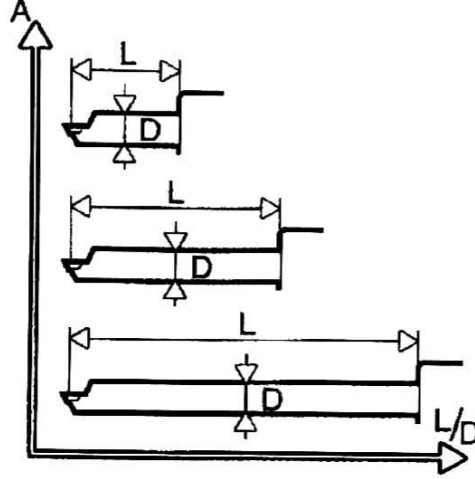
3.2. Tornalama Yöntemleri

Yapılan tornalama işlemi türüne göre tornalama yöntemleri alın ve dış çap tornalama, delik işleme, diş çekme, kanal açma ve kesme olarak sıralanabilir (Çakır, 2018).

3.2.1. Delik işleme

Delik işleme operasyonu önceden delinmiş deliklerin hassas işlenmesi veya dövme, döküm gibi parçalardaki mevcut deliklere uygulanır.

Tüm işlemlere uygulanan genel kural, efektif takım uzunluğunun (L) en iyi rijitliğin ve hassasiyetin sağlanabilmesi için minimum tutulmasıdır. Efektif takım uzunluğu işlenecek delik derinliğine göre belirlenir. Rijitlik aynı zamanda takım çapına da (D) bağlıdır ve L/D oranı ile tanımlanır. Daha küçük bir oran daha iyi rijitlik sağlar. Şekil 3.5'te L/D oranı ve rijitlik ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. L/D Oranı ve rijitlik ilişkisi (Çakır, 2018).

3.2.1.1. Takımın sehim

Delik katerinin sehim miktarı; katerin malzemesine ve çapına, efektif takım uzunluğuna, radyal ve eksenel kuvvetlerin bileşkesine bağlıdır. Mekanikğin temel prensibine göre sehim miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklemler 3.3).

$$\delta = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (3.3)$$

δ : Sehim

F: Kesme kuvveti

L: Efektif takım uzunluğu

E: Takım malzemesinin elastisite modülü

I: Atalet momenti

Atalet momenti I , malzeme kesitinin şekline bağlıdır ve dairesel bir kesit için aşağıdaki şekilde hesaplanır (Denklemler 3.4).

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (3.4)$$

D: Takım çapı

Sehim formülünden de görüldüğü üzere sehim miktarı efektif takım uzunluğu ile doğru orantılı, takım çapı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Sehimin daha yüksek elastisite katsayısına sahip bir malzemeden yapılmış takım kullanılarak azaltılması mümkündür.

3.2.2. Kesme ve kanal açma

Kesme işlemlerinde takım iş parçası merkezine doğru doğrusal bir hareket yaparken, iş parçası dönme hareketi yapar.

Kesme işleminde rijitlik kritik bir faktördür. Erişilebilirlik taleplerinin karşılanabilmesi için ucun ve takımın boyutları optimize edilmelidir. Isının uzaklaştırılabilmesi için yeterli bir alan yoktur ve bu nedenle kesme işleminde soğutma sıvısı önemli bir rol oynar.

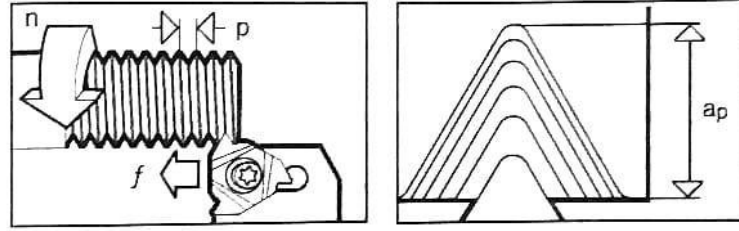
Kanal açma işleminde de kesme işlemi için geçerli olan zorluklar kanalın derinliğine ve genişliğine bağlı olarak mevcuttur. Kanal yan yüzeyleri, kanal derinliği ve genişliği açısından çok daha hassas toleranslara ihtiyaç vardır.

3.2.3. Diş çekme

Tek ağızlı bir takım ile diş çekme işlemindeki temel prensip takımın ilerleme hareketinin iş parçasının devir sayısına bağlı olmasıdır. Bu sayede kesici uç istenilen hatveye sahip helisel kanallı diş açacaktır. İşleminde her pasoda takım iş parçası boyunca doğrusal olarak ilerler ve parça sonunda başlangıç noktasına dönerek aynı işlemi tekrar eder.

İlerleme, dişin adımını belirler. İlerleme hızı diğer tornalama işlemlerine kıyasla çok daha yüksektir. Yüksek hız ve ilerlemenin söz konusu olduğu bu tornalama işleminde dişin profili kesici uç için ideal bir profil değildir ve bu nedenle talaş

kaldırma esnasında kesici uç oluşan kuvvet ve gerilmelere karşı daha hassas hale gelir. Bu yüzden diş derinliğince belirlenen talaş derinliği tek pasoda işlenemez. Kesici takım, diş hatveye bağlı olarak farklı derinliklerde 5 ile 16 pasoda açar. Her pasoda kesici kenarın temas alanı arttığı için talaş derinliği her paso başlangıcında azaltılır (Çakır, 2018). Şekil 3.6’da diş çekme işleminde diş hatvesi, ilerleme ve talaş derinliği gösterilmiştir.



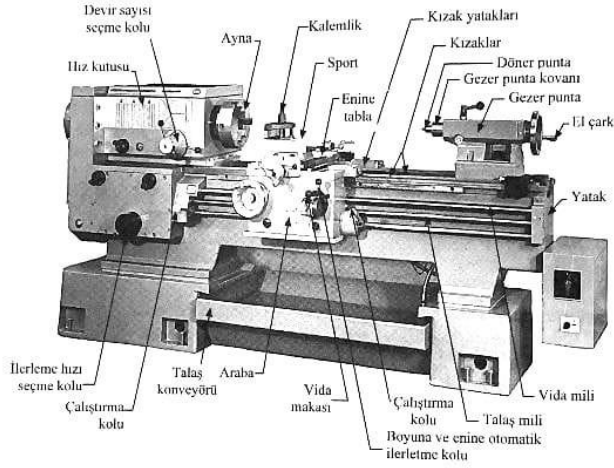
Şekil 3.6. Diş hatvesi, ilerleme ve talaş derinliği (Çakır, 2018)

3.3. Torna Tezgahları

Silindirik parçaların talaşlı imalatında torna tezgahları kullanılır. Torna tezgahlarında iş parçası ayna adı verilen bir aparata bağlanır ve parça kendi ekseninde belirlenen devir kadar dönme işlemi yapar. Tarete bağlanan kesici takımlar yardımıyla dönen parça üzerinden talaş kaldırılır. Genel olarak torna tezgahları universal ve günümüzde sıkça kullanılan CNC torna tezgahları olarak ikiye ayrılabilir.

3.3.1. Üniversal torna tezgahları ve kısımları

Üniversal bir torna tezgahında şu kısımlar bulunur. Kızaklar, vidalı mil, hız kutusu ayna, gezer punta, sport, kalemlik, araba, talaş konveyörü (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Üniversal torna tezgahı ve kısımları (Aydın ve ark., 2022).

3.3.2. CNC torna tezgahları ve kısımları

Gelişmiş bir CNC torna tezgahında şu kısımlar bulunur. Gövde, dış kabin, C eksen, Y eksen, eksen motorları, fener mili, vidalı mil, ayna, karşı ayna, punta, soğutma sıvısı tankı, kontrol paneli, takım sıfırlama kolu, çubuk sürücü ve talaş konveyörü.

Taret; birden fazla kesici takımın bağlanabildiği ve bağlanan kesici takımların otomatik olarak çağırılabilirdiği takım bağlama aparatına denir. Taret üzerine bağlanan kesici takımlar iç çap, dış çap ve tahrikli (canlı) takımlar olarak sınıflandırılabilir (Tezmaksan Akademi).

Vidalı mil; CNC torna tezgahlarında aksenel hareketler bilyalı vidalar sayesinde sağlanır. Üniversal tezgahlarda kullanılan vidalarda sürtünmeden dolayı eksen hareketlerini yapabilmek için hem yüksek güç gerekir hem de zamanla vida ile somun arasında boşluklar oluşur. Bu olumsuzlukları önlemek için CNC takım tezgahlarında sürtünme yerine yuvarlanma hareketi yapan bilyalı vidalar tercih edilir. Bilyalar somun görevini üstlenir ve vida etrafında döner. Vida dış formu tam yuvarlak değil yay şeklindedir. Böylece bilyanın tüm yüzeyleri değil sadece karşılıklı iki noktası temas eder ve aşınma minimuma iner (Tezmaksan Akademi).

Fener mili; tezgahın hassasiyeti açısından en büyük önem taşıyan kısımdır. Bu bölgedeki en küçük sapmalar ölçüsel hatalara ve hassasiyetin bozulmasına neden olur.

Kontrol ünitesi; tezgahın kumanda edildiği, manuel programın yazıldığı ve düzeltildiği, tezgaha ait sistematik ve parametrik bilgilerin bulunduğu kısımdır.

Karşılık puntası; uzun iş parçalarını alından destekleyerek salgısız ve titreşimsiz işlenebilmeleri için kullanılırlar.

Ayna; silindirik, kare, altıgen kesitli iş parçalarının bağlanmasında kullanılırlar. Bağlanılacak iş parçası kesitine göre; 2-3-4 çeneli aynalar kullanılabilir.

Şekil 3.8’de CNC torna tezgahının kısımları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. CNC torna tezgahı kısımları (Tezmaksan Akademi).

3.4. Frezeleme

Frezeleme, dönen çok uçlu bir takım ile iş parçasının doğrusal yönde hareketi sonucunda gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemidir. Freze olarak söz edilen kesici takımın birçok kesici kenarı vardır. Frezeleme operasyonu daha çok düzlemsel yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların oluşturulması amacıyla kullanılır (Çakır, 2018).

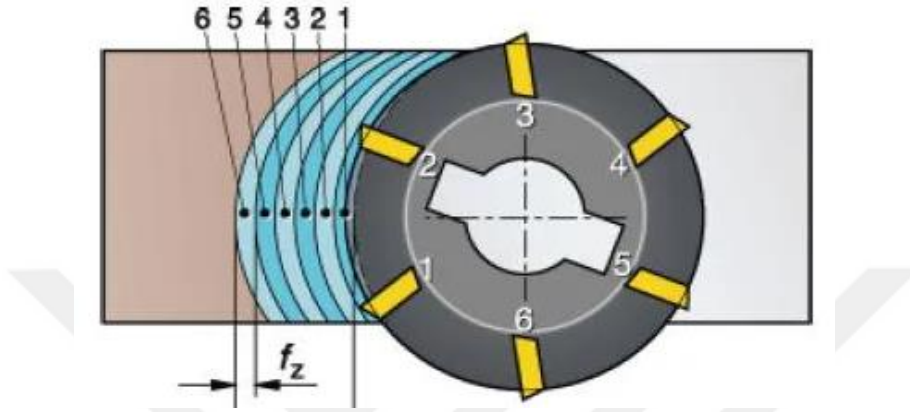
3.4.1. Frezeleme işleminde temel tanımlar

Devir (n): Tezgahın iş miline bağlı frezenin bir dakikada kendi ekseninde yaptığı dönme hareketi sayısıdır (dev/dk).

Kesme hızı (Vc): Kesici kenarların iş parçası üzerinden talaş kaldırdığı andaki hızı ifade eder (m/dk).

Devir başına ilerleme (f): Kesici takımın kendi ekseninde bir tam tur attığı anda iş parçası üzerinde aldığı doğrusal yoldur (mm/dev).

Kesici uç başına ilerleme (f_z): Frezede bulunan bir kesici ucun iş parçasına girişi ile bir sonraki kesici ucun iş parçasına girişi esnasında geçen sürede tablanın ilerlediği mesafedir (mm/kesici uç sayısı) (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Uç başına ilerleme (Sandvik Coromant, 2008).

İlerleme hızı (V_f): Takımın iş parçasına doğru bir dakikada aldığı doğrusal yoldur. Tabla ilerlemesi olarakta tanımlanabilir (mm/dk). İlerleme hızı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 3.5).

$$V_f = f_z \times z \times n \quad (3.5)$$

V_f : İlerleme hızı

f_z : Kesici uç başına ilerleme

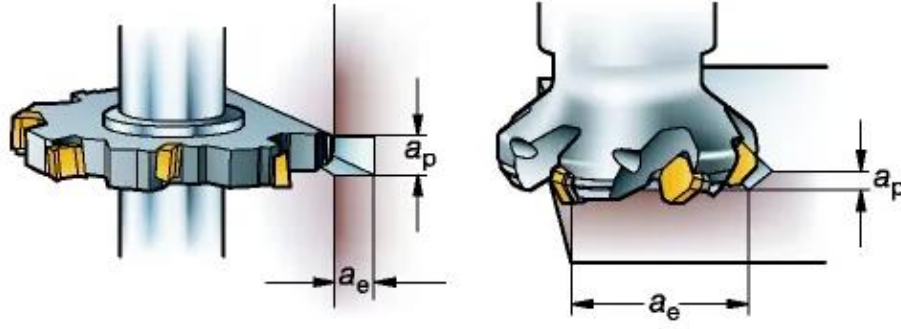
z : Frezedeki uç sayısı

n : Devir

Eksenel kesme derinliği (a_p): Takımın iş parçasından eksenel yönde kaldırdığı talaş miktarıdır (mm).

Radyal kesme derinliği (a_e): Takımın radyal yönde iş parçası üzerinde kapladığı uzunluktur (mm).

Şekil 3.10'da eksenel ve radyal kesme derinliği gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Eksenel ve radyal kesme derinliği (Sandvik Coromant, 2008).

Talaş hacmi (V): Talaş derinliği, talaş genişliği ve kesici takımın birim zamanda aldığı mesafenin çarpımlarına eşittir (mm^3/dk) (Denklem 3.6).

$$V = a_e \times a_p \times V_f \quad (3.6)$$

V: Talaş hacmi

a_e : Radyal kesme derinliği

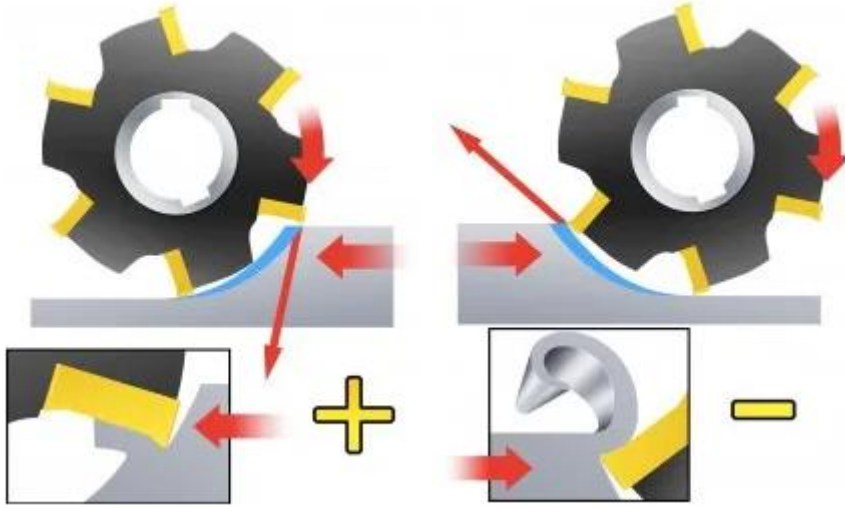
a_p : Eksenel kesme derinliği

V_f : İlerleme hızı

Aynı yönlü frezeleme: İş parçasının ilerleme yönü ile takımın dönüş yönü aynıdır. Talaş kalınlığı başlangıçtaki maksimum değerden kesme işleminin sonunda sıfır olacak şekilde giderek azalır (Sandvik Coromant, 2008).

Ters yönlü frezeleme: İş parçasının ilerleme yönü ile takımın dönüş yönü birbirine zıttır. Talaş kalınlığı sıfırdan başlayarak kesme işleminin sonuna kadar artar (Sandvik Coromant, 2008).

Şekil 3.11’de kesici takım hareketine göre frezeleme yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Aynı yönlü ve ters yönlü frezeleme (Sandvik Coromant, 2008).

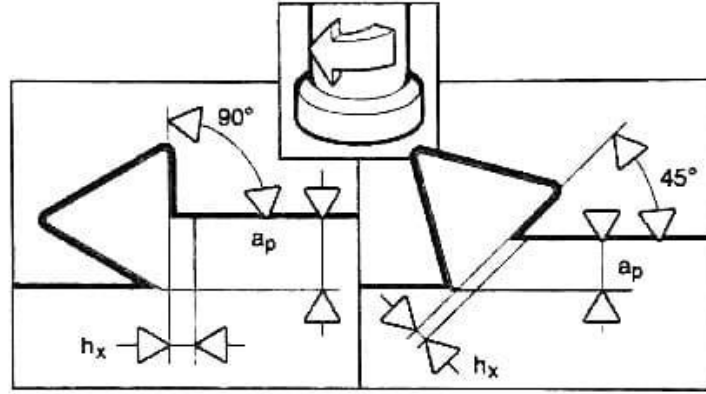
3.4.2. Yaklaşma açısı ve talaş kalınlığı arasındaki ilişki

Frezeleme işleminde talaş oluşumunun kontrolü son derece önemlidir. Yüksek performans, uzun bir takım ömrü ve ideal sonuçlar için talaş kalınlığı kontrol altına alınmalıdır.

Talaş kalınlığı, kesici takımın iş parçasına giriş şekline bağlıdır. Alın frezeleme işleminde yaklaşma açısı (κ), kesici kenar yüzeyi ile düzlem yüzey arasındaki açıdır. Bu açı 45° - 90° arasında değişir. Büyük bir yaklaşma açısı kalın talaş oluştururken, küçük bir yaklaşma açısı ince talaş oluşturur (Çakır, 2018).

Yaklaşma açısı ne kadar küçük olursa ortaya çıkan talaş o kadar ince olur ve talaşlar daha büyük bir kenar uzunluğuna yayılır. Bu durumda kesici kenarlara gelen yük azalır ve daha yüksek uç başına ilerleme (f_z) kullanabilmek mümkün olur. Daha küçük bir yaklaşma açısı daha düşük talaş derinliği demektir (Çakır, 2018).

Şekil 3.12’de yaklaşma açısı ve talaş kalınlığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Yaklaşma açısı ve talaş kalınlığı (Çakır, 2018).

Talaş kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 3.7).

$$h_x = f_z \times \sin \kappa \quad (3.7)$$

h_x : Talaş kalınlığı

f_z : Uç başına ilerleme

κ : Yaklaşma açısı

3.4.3. Kesici uçların yerleştirilmesi

Çok kenarlı bir takım olan frezede kesici uç sayısı (z) değişkendir ve operasyon tipine göre belirlenmelidir. Takımın sağlaması gereken koşullar; yeterli kesici uç başına ilerlemenin (ortalama talaş kalınlığı 0,1 mm olacak şekilde) sağlanması, en az iki kesici ucun aynı anda kesime katılması ve yüksek talaş kaldırma kapasitesi olarak sıralanabilir (Çakır, 2018).

Bir freze için adım (u), kesici kenar üzerindeki bir nokta ile bir sonraki kesici kenar üzerindeki aynı nokta arasındaki mesafedir.

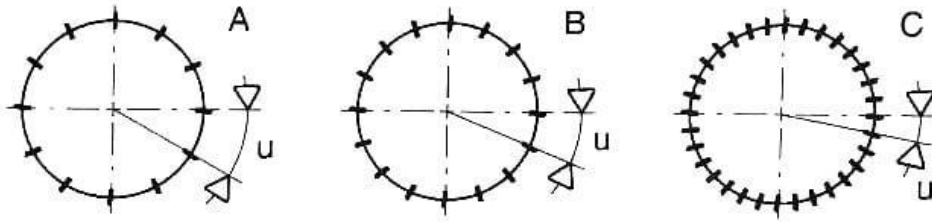
Seyrek yerleştirme; freze etrafında daha az kesici uç bulundurulur. Talaşın tahliyesi kolaydır. Bu frezeler genellikle titreşim eğiliminin olduğu operasyonlarda çeliklerin kaba ve ince işlemelerinde kullanılırlar.

Sık yerleştirme; freze etrafında daha fazla kesici uç bulundurulur. Talaşın tahliyesi orta zorluktadır. Yüksek talaş hacmi oluşturlar. Dökme demirler ve çeliklerin orta kaba işlemlerinde kullanılırlar.

Çok sık yerleştirme; çok yüksek tabla ilerlemelerine izin verir. Talaş tahliyesi zordur. Dökme demirlerin kesintili işlemleri, çeliklerde küçük talaş derinlikleri kullanılan uygulamalarda, titanyum gibi düşük kesme hızı ile işlenmesi gereken operasyonlar için uygundur.

Değişken yerleştirme; freze etrafındaki kesici uçların eşit olmayan aralıklarla yerleştirilmesidir. Titreşim problemlerinin olduğu operasyonlar için kullanılabilirler (Sandvik Coromant, 2008).

Şekil 3.13'te kesici uçların frezeye yerleştirme şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Seyrek, sık ve çok sık yerleştirme (Çakır, 2018).

3.5. Frezeleme Yöntemleri

Frezeleme işlemleri parça üzerinde istenilen formların, konturların oluşturabilmesi için yapılır. Örnek olarak düz bir yüzey işlenmesi yüzey frezeleme işlemi olarak adlandırılabilirken, parça üzerinde boşaltma cep frezeleme veya havuz işleme olarak adlandırılır. Pah kırma frezesi ile işleme sonunda çapaksız bir ürün elde edebilmek için pah frezeleme işlemi yapılır. Bu şekilde ihtiyaca göre yapılan frezeleme işlemleri farklı isim alır.

3.5.1. Yüzey frezeleme

Düzlem yüzeylerin oluşturulması için frezeleme işlemi şarttır. Genellikle düz bir yüzey kendisine 90° lik bir fatura oluşturur. Bu işlem için 90° yaklaşma açısına sahip bir frezeye ihtiyaç vardır. Bu frezeler düşük eksenel kuvvetler oluştururken, 60°

veya 45° gibi daha düşük yaklaşma açısına sahip frezeler ile daha dengeli bir kesme işlemi gerçekleştirilir (Sandvik Coromant, 2008).

Frezelemede genel kural alın freze çapının talaş genişliğinden (a_e) 1,2-1,5 kat büyük seçilmesi, aynı yönlü frezeleme yönteminin kullanılması ve iş parçasının çıkışında talaş kalınlığının minimum olmasıdır (Çakır, 2018). Şekil 3.14'te frezelenmiş yüzeyler gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Düzlem yüzeyler ve 90 derecelik faturalar (Çakır, 2018).

3.5.2. Cep frezeleme

Cep frezeleme işlemi, takımın belirli bir derinliğe kadar işleyip daha sonra frezelenmesini gerektirir. Bu işlemi yapabilecek freze, cebin tüm derinliği boyunca aksenal yönde hareket edebilmelidir (birkaç pasoda veya rampalama). Şekil 3.15'te cep frezeleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Cep frezeleme (Sandvik Coromant, 2008).

3.5.3. Kontur frezeleme

İş parçalarındaki çeşitli konturlar, formlar CNC tezgahlarında işlenirler. Konturlar küresel uçlu parmak frezelerle veya yuvarlak kesici kenarlara sahip parmak frezelerle işlenebilirler.

3.5.4. Pah frezeleme

Pah kırma, dip köşe kanallarının açılması ve iş parçasının keskin köşelerindeki çapakların alınması gibi işlemlerdir (Şekil 3.16).



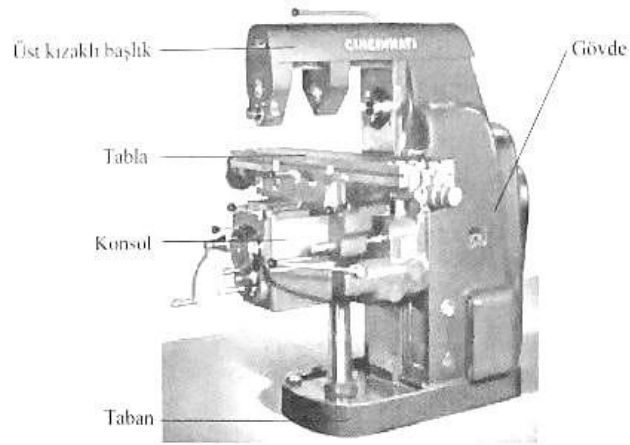
Şekil 3.16. Pah frezeleme (Sandvik Coromant, 2008).

3.6. Freze Tezgahları

Prizmatik şeklindeki iş parçalarının talaşlı imalat yöntemi ile işlenmesinde freze tezgahları kullanılır. Bu takım tezgahları, bir motora bağlı fener milinin kendi ekseninde dönmesi ve dolayısıyla fener miline bağlı kesici takımın dönme ve ilerleme hareketi yapmasıyla sabit halde duran iş parçasının üzerinden talaş kaldırma işlemi yaparlar. Genel olarak freze tezgahları universal ve günümüzde sıkça kullanılan işleme merkezi adı da verilen CNC freze tezgahları olarak ikiye ayrılabilirler.

3.6.1. Universal freze tezgahları ve kısımları

Universal bir freze tezgahında şu kısımlar bulunur. Gövde, konsol, tabla, taban, üst kızaklı başlık (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Üniversal freze tezgahı kısımları (Aydın ve ark., 2022)

3.6.2. CNC freze tezgahları ve kısımları

CNC freze tezgahları genellikle prizmatik iş parçalarının işlenmesi için tasarlanmışlardır. Günümüzde birçok modern CNC tezgahlarıyla frezeleme işleminin yanı sıra delik delme, delik işleme, kılavuz ve rayba çekme, diş açma vb. işlemler yapılabildiği için işleme merkezi adı da verilmiştir. Başlıca kısımları; gövde, fener mili, tezgah tablası, takım magazini ve kontrol ünitesidir.

Gövde ve kızaklar; CNC işleme merkezlerinin gövdeleri dökme demirden yapılır. Lineer ve kutu kızak sistemler kullanılırlar. Eksen hareketleri kızaklar üzerinde gerçekleşir. Kutu tipi kızaklar ağır kesme koşullarında çalışabilirler fakat lineer tip kızaklara göre eksen hareketleri daha yavaştır (Tezmaksan Akademi).

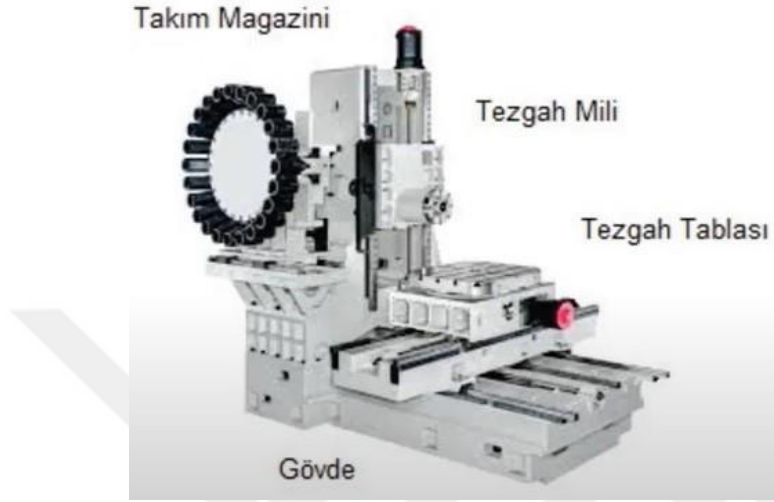
Fener mili; CNC işleme merkezlerinde kesici takımın dönme hareketini sağlar. Fener mili servo motordan aldığı dönme hareketini kendisine bağlı olan kesici takıma iletir.

Tezgah tablası; iş parçasının üzerine bağlandığı ve eksenel hareketleri yapan tezgah elemanıdır. Tezgah tablası hareketleri kayıtlı kızak sistemleri ve vidalı miller vasıtasıyla gerçekleşir (Tezmaksan Akademi).

Takım magazini; CNC işleme merkezlerinde kesici takımların yerleştirildiği ve takımın değiştirilmesini sağlayan düzeneklerdir. Tezgah yapısına bağlı olarak 12-32 arasında takım bağlanabilir.

Kontrol ünitesi; CNC takım tezgahlarında veri girişinin yapıldığı, işleme programı ile ilgili düzenlemelerin yapıldığı, kesici takım bilgileri ve tezgah bilgilerinin kaydedildiği paneldir.

Şekil 3.18’de bir CNC freze tezgahının kısımları gösterilmiştir.



Şekil 3.18. CNC freze tezgahı kısımları (Tezmaksan Akademi).

3.7. Delik Delme

Delik delme işlemi iş parçasından talaş kaldıran silindirik bir takımla (matkap, rayba, kılavuz vb.) delik açma yöntemlerinin tamamıdır. Ana dönme hareketi ile birlikte doğrusal bir ilerleme hareketi gerçekleşir. Eski klasik tezgahlarda delik delme işlemi genellikle takımın dönerek ilerlemesi ile gerçekleşirken, CNC tezgahlarının kullanılmasıyla iş parçasının dönüp takımın sabit kaldığı delme işlemleri de yaygınlık kazanmıştır (Çakır, 2018).

En yaygın delik delme yöntemi dolu bir malzemenin bir takım ile istenilen çapa tek bir operasyonla delinmesidir. Bazı işlemlerde delinecek deliğin yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyeti iyileştirilmek istenirse delme işlemini takip eden bir delik genişletme işlemi uygulanır.

3.7.1. Delik delme işleminde temel tanımlar

Devir (n): Delme işleminde ana hareket takım veya iş parçasının dönme hareketidir.

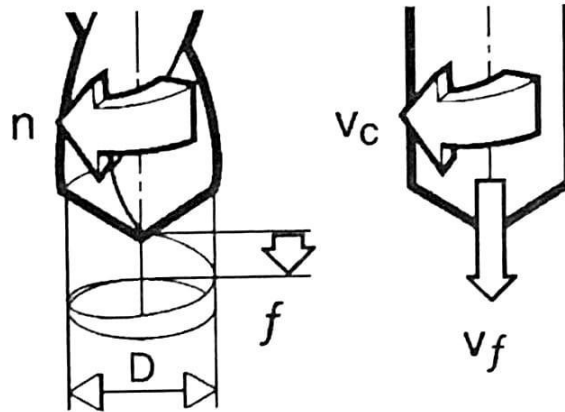
Takımın veya iş parçasının bir dakikada yaptığı tur sayısıdır (dev/dk).

Kesme hızı (V_c): Delme işlemi esnasında D matkap çapı olmak üzere, matkap bir dönüşte çevresi $\pi \times D$ olan bir daire çizer. Kesme hızı, matkabin bir tam dönüşte aldığı yol ile devir sayısı çarpılarak elde edilir (m/dk).

İlerleme hızı (V_f): İşlemin yöntemine göre takımın iş parçasına göre veya iş parçasının takıma göre ilerlemesidir (mm/dk).

Devir başına ilerleme (f): Takım veya iş parçasının bir devirdeki ilerleme miktarıdır (mm/dev).

Şekil 3.19’da devir, kesme hızı, ilerleme hızı ve ilerleme miktarı gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Devir, kesme hızı, ilerleme ve ilerleme hızı (Çakır, 2018).

Talaş genişliği (a_p): Takımın temasta olduğu iş parçası yüzeyidir.

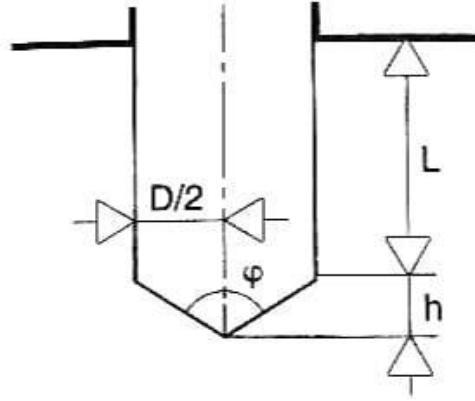
İlerleme uzunluğu ($L+h$): Delik derinliği ile matkap ucu yüksekliğinin toplamıdır. Matkap ucu aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 3.8). Şekil 3.20’de matkaptaki ilerleme uzunluğu gösterilmiştir.

$$h = \frac{D}{2} \times \cot \frac{\varphi}{2} \quad (3.8)$$

h: Matkap ucu

D: Matkap çapı

φ : Matkap açısı



Şekil 3.20. İlerleme uzunluğu (Çakır, 2018).

3.8. Delik Delme Yöntemleri

Delik delme işlemi talaşlı imalatta önemli bir yere sahiptir. Özellikle montajı yapılacak parçaların bağlantı delikleri, iş parçasının sorunsuz çalışabilmesi için istenilen hassasiyette delinmeli ve gerekli ise delme işleminden sonra işlenmelidir. Başlıca delik delme yöntemleri; dolu yüzeye delik delme, baralama, tek bir takım ile birden fazla deliğin kademeli olarak delinmesi ve raybalama olarak sıralanabilir.

3.8.1. Dolu yüzeye delik delme

Bu işlemde talaşın uzaklaştırılması büyük önem taşır. Delik derinliğine uygun matkap seçimi yapılmalıdır. Delik derinliği arttıkça talaşı uzaklaştırmakta zorlaşacaktır. Uzaklaştıramayan talaş matkapta radyal sapmalara yol açarak deliğin kalitesini bozacak ve hatta matkabın kırılmasına neden olacaktır.

3.8.2. Baralama

Ön delik delinmiş veya döküm, dövme gibi ön proses yapılmış yüzeylerde delik büyütme ve son hassas ölçüye getirmek için uygulanan işlem tipidir. Uzun kullanma mesafelerinde titreşimden dolayı işlem yapmak zorlaşır.

3.8.3.Kademeli delik delme

Açılan delikler için bir havşa işlemi veya çapak alma işlemi şarttır. İlave olarak farklı derinliklerde ve farklı çaplarda delik delme işlemleri de kademeli delik delme olarak tanımlanabilir. Özel matkap tasarımlarıyla ve tek bir operasyonla bu işlemler gerçekleştirilebilir.

3.8.4. Raybalama

Raybalama işlemi delikten beklenen yüksek boyutsal, geometrik ve yüzey toleransları söz konusu olduğunda uygulanan bir işlemdir. Öncesinde istenilen çaptan yaklaşık 0,2-0,5 mm aralığında küçük çapta bir matkap ile delik delinir. Kalan pasolar raybalama işlemine bırakılır. Raybalamada genel kural, raybanın ilerleme hızının ön matkap ilerleme hızının 1/3'ü kadar olmasıdır. Şekil 3.21'de farklı delik delme yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Farklı delik delme yöntemleri (Sandvik Coromant, 2008).

3.9. Diğer Talaşlı İmalat Yöntemleri

Tornalama, frezeleme ve delik delme dışında talaşlı imalatı çok sık olarak kullanılmayan parça üretimine özgü yöntemler vardır. Bu yöntemler taşlama, honlama, broşlama, dişli azdırma olarak sıralanabilir.

3.9.1. Taşlama

Taşlama, dönen taş yüzeyindeki farklı kesme geometrilerine sahip aşındırıcı tanelerin iş parçasına temas ederek talaş kaldırılması işlemidir. Çok düşük talaşlar kaldırıldığı için taşlama ile hassas boyutlar ve yüzeyler elde edilir (Aydın ve ark., 2022).

3.9.2. Honlama

Honlama, delik yüzeylerinden çok ince talaş kaldırma işlemidir. Taşlamaya göre kesme hızları çok düşüktür. Bu işlem deliklerin istenilen yüzey kalitesi ile birlikte son ölçüye getirilmesinde uygulanır. Delik delme işleminde oluşan dairesellik, koniklik, radyal salgı ve matkap izlerinin giderilmesinde kullanılır (Aydın ve ark., 2022).

3.9.3. Broşlama

Broşlama, doğrusal yönde hareket yapan çok ağızlı ve değişik profillerde imal edilebilen kesici bir takım ile tek seferde talaş kaldırma işlemidir. Ortalama kesme hızı 15-20 m/dk arasındadır (Aydın ve ark., 2022).

3.9.4. Dişli azdırma

Düşük aşınmaya ve güç iletimine maruz ve hassas olmayan hareketlerin iletiminde kullanılan dişli çarklar kum döküm, kalıp döküm, zımbalama ve toz metalurjisi yöntemiyle; yüksek aşınmaya ve güç iletimine maruz ve hassas hareketlerin iletiminde kullanılan dişli çarklar talaşlı imalat yöntemiyle imal edilir (Aydın ve ark., 2022).

4. YÜZEY KALİTESİ

Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen parçalardan geometrik, boyutsal ve yüzeysel beklentiler vardır. Bu beklentiler tasarımcı tarafından teknik resim vasıtasıyla imalatçıya iletilir. Tasarımcının esas amacı, imal edilecek parçanın montaj olacağı yerde sorunsuz çalışmasını sağlayacak toleranslar belirlemektir. İmalatçı ise bu toleranslara bağlı kalarak üretimi gerçekleştirir.

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat operasyonları esnasında sürtünme ve ısı oluşumu kaçınılmazdır. Kesici takım iş parçası üzerinde temasını devam ettirdikçe sürtünme ve ısı kaynaklı olarak iş parçası üzerinde girintiler oluşacaktır. İşlem sonrası ortaya çıkan yüzey gerçek yüzeydir. İdeal yüzey ile gerçek yüzey arasında dik yöndeki girintiler yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanır (Şah, 2018).

İşlenmiş yüzeylerde pürüzlülük değerinin minimum tutulması nihai amaçtır. İyi bir yüzey, malzemenin yorulma dayanımına ve korozyon direncine olumlu etki eder. Özellikle aktarma organlarında, kalıp işleme yüzeylerinde, kızaklı yataklarda, pistonlarda, sızdırmazlık yüzeylerinde ve kontrol masterlarında iyi bir yüzey kalitesi aranan kriterdir.

Yüzey pürüzlülüğü birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kesme parametreleri
- Kesici takım özellikleri
- İş parçası özellikleri
- İşleme yöntemi, takım yolları
- Takım tezgahının rijitliği

4.1.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri

Örnek uzunluk (l): Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan uzunluktur.

Ölçüm uzunluğu (l_n): Ölçümü yapılan yüzeyin değerlendirildiği uzunluktur, l_n uzunluğu n değeri minimum 5 olmak üzere, aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 4.1). Örnek uzunluk ve ölçüm uzunluğu Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

$$l_n = l \times n \quad (4.1)$$

l_n: Ölçüm uzunluğu

l: Örnek uzunluk

n: Örnek sayısı



Şekil 4.1. Örnek uzunluk ve ölçüm uzunluğu (Gadelmavla ve Koura, 2002).

Ortalama çizgi (m): Ölçüm uzunluğu arasında kalan, en alt ve en üst noktalarının ortasından geçen referans çizgidir (Kavak, 2019).

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra): Belirlenen ölçüm uzunluğunda ortalama çizgisinin altından ve üstünden ölçülen değerlerin aritmetik ortalamasıdır (Kavak, 2019). Aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 4.2).

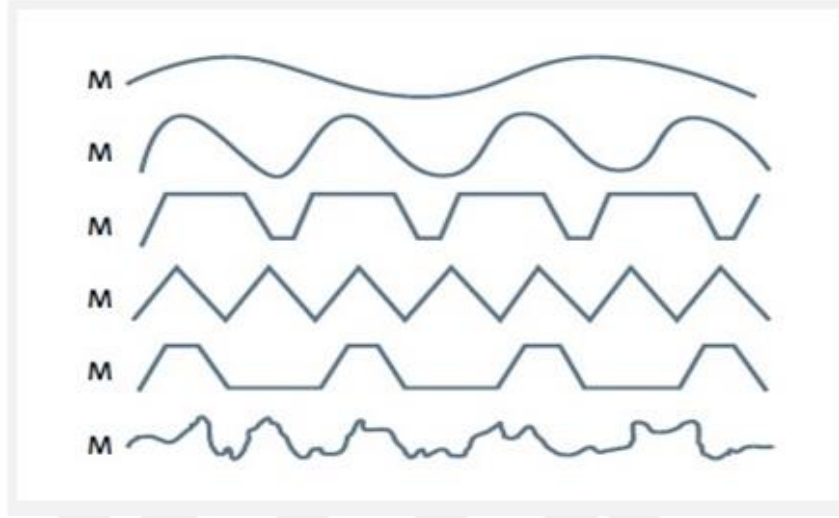
$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.2)$$

Ra: Ortalama yüzey pürüzlülüğü

y_i: Ortalama çizginin altında ve üstünden ölçülen her bir yüzeyin pürüzlülük değeri

n: Ölçülen profil sayısı

Ra, malzemenin yüzey profili hakkında gerçek bir bilgi vermeyebilir. Ani pik yapan bir profil ile vadili bir profil ölçüldüğünde aynı Ra değerleri bulunabilir (Yeşilay, 2017). Şekil 4.2’de aynı Ra değerine sahip farklı yüzey profilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Aynı Ra değerine sahip farklı yüzey profilleri (Yeşilay, 2017).

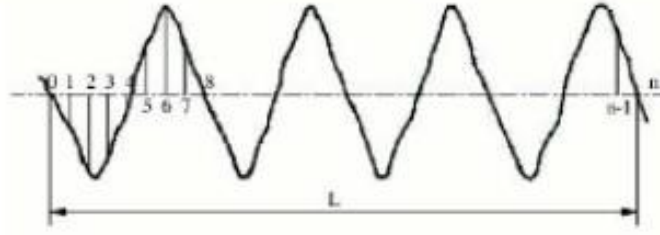
Pürüzlülüğün karelerinin ortalamasının karekökü (Rq): Ölçüm uzunluğu boyunca profil düzensizliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü değeridir. Bu değer, yüzey ile ilgili ortalama yüzey pürüzlülüğü olan Ra değerinden daha hassastır (Yeşilay, 2017). Rq değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 4.3).

$$Rq = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2}{n}} \quad (4.3)$$

Rq: Pürüzlülüğün karelerinin ortalamasının karekökü

h: Profil düzensizlikleri

n: Ölçülen profil sayısı

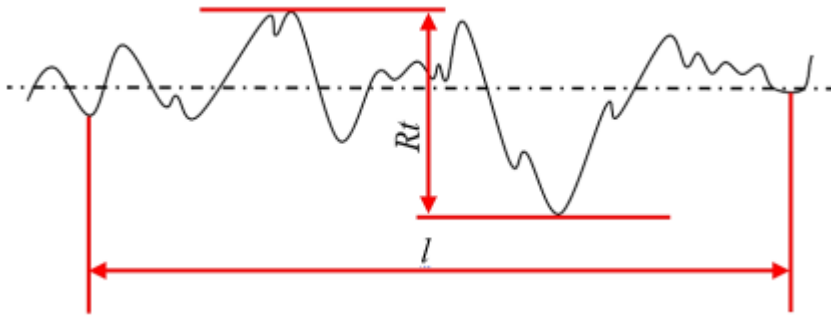


Şekil 4.3. Rq değerinin gösterimi (Neşeli, 2006).

Maksimum profil yüksekliği (R_p): Ölçüm uzunluğundaki en yüksek nokta ile ortalama çizgi (m) arasındaki mesafedir (Yeşilay, 2017).

Maksimum profil derinliği (R_m): Ölçüm uzunluğundaki en alt nokta ile ortalama çizgi (m) arasındaki mesafedir (Yeşilay, 2017).

Maksimum yüzey pürüzlülük değeri (R_t , R_{max}): Ölçüm uzunluğunun içinde bulunan profilin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki mesafedir (Yeşilay, 2017) (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Maksimum yüzey pürüzlülük değeri R_t , R_{max} (Çodur, 2022).

Örnek uzunluktaki maksimum pürüzlülük değeri (R_{ti}): Bir örnek uzunluktaki profilin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki mesafedir (Yeşilay, 2017). 5 adet örnek uzunluk bulunan bir ölçüm uzunluğundaki profil için ($l_n = l \times 5$) yine 5 adet R_{ti} değeri olacaktır.

Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü (R_z): Ölçüm uzunluğundaki ardışık R_{ti} değerlerinin ortalamasıdır (Yeşilay, 2017) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü R_z (Özses, 2002).

Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 4.4).

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_{pi} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_{vi} \quad (4.4)$$

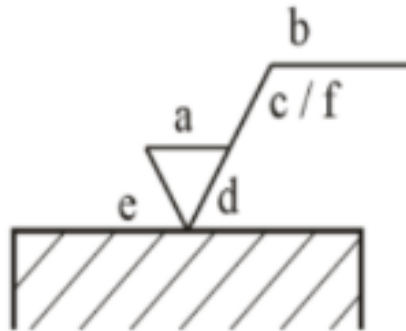
R_z : Ortalama maksimum yüzey pürüzlülüğü

Y_{pi} : Bir örnek uzunluktaki maksimum pürüzlülük değeri (+)

Y_{vi} : Bir örnek uzunluktaki maksimum pürüzlülük değeri (-)

4.1.2. Yüzey işaretlerinin gösterimi

Teknik resimlerde istenilen yüzeyler ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibi gösterilmiştir (Okcan, 2021) (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Yüzey işleme işaretleri (Okcan, 2021)

a: R_a sembolü ile birlikte mikron cinsinden pürüzlülük değeri

b: İmalat yöntemi taşlama, honlama vb.

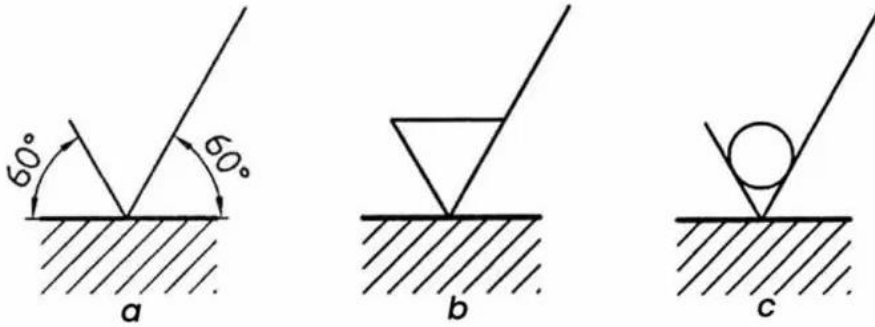
c: Pürüzlülük değeri için ölçüm uzunluğu

d: İşleme izlerinin yönü

e: İşleme payı

f: Ra dan başka sembolü ile birlikte mikron cinsinden pürüzlülük değeri

Yüzeye uygulanacak işlem türüne göre yüzey işaretleri aşağıdaki gibi gösterilir (Okcan, 2021) (Şekil 4.7).



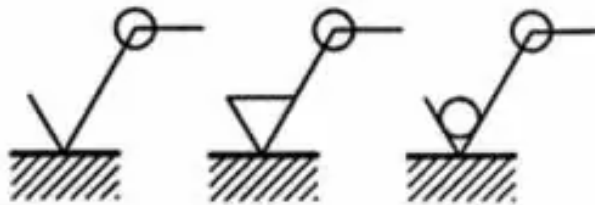
Şekil 4.7. İşlem türüne göre yüzey işaretleri (Okcan, 2021).

a: İşlem gören yüzey sembolü

b: Talaş kaldırılan yüzey sembolü

c: Talaş kaldırılmayan yüzey sembolü

Bir parçanın tüm yüzeyleri için aynı yüzey istenildiğinde aşağıdaki gibi yüzey işaretlerine bir daire eklenir (Okcan, 2021). Şekil 4.8'de teknik resimlerde tüm yüzeylerin gösterilmesinde kullanılan yüzey işaretleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tüm yüzeylerin gösterilmesinde kullanılan işaretler (Okcan, 2021).

4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü standartları

JIS B0601-1982, JIS B0601-1994, AISI, DIN ve ISO gibi uluslararası Alman ve Japon standartlarında farklı yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin farklı değerleri için örnek uzunluğu ve ölçüm uzunlukları tarif edilmiştir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de ISO standartlarına göre değerlendirmeler verilmiştir (Gezgin, 2007).

Tablo 4.1. Ra ve Rq örnekleme uzunluğu ve ölçme uzunluğu (Gezgin, 2007).

Ra-Rq (μm)	Örnekleme uzunluğu, l (mm)	Ölçme uzunluğu, ln (mm)
$0,006 < \text{Ra} < 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < \text{Ra} < 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < \text{Ra} < 2$	0,8	4
$2 < \text{Ra} < 10$	2,5	12,5
$10 < \text{Ra} < 80$	8	40

Tablo 4.2. Rz, Rt, Rp örnekleme uzunluğu ve ölçme uzunluğu (Gezgin, 2007).

Rz, Rt, Rp (μm)	Örnekleme uzunluğu, l (mm)	Ölçme uzunluğu, ln (mm)
$0,025 < \text{Rz} < 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < \text{Rz} < 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < \text{Rz} < 10$	0,8	4
$10 < \text{Rz} < 50$	2,5	12,5
$50 < \text{Rz} < 200$	8	40



5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümün birinci kısmında deneylerde kullanılan ekipmanlar, ikinci kısımda ise deney tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi yöntemi ve aşamaları, ANOVA analizi hakkında bilgiler verilmiştir.

5.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Bu deneysel çalışmada ham malzeme olarak GG25 pik döküm malzeme, CNC işleme merkezi, Ø63 ve Ø50 freze takımı, kesici uçlar, BT50 takım tutucular, takım ölçüm cihazı ve yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

5.1.1. İş parçası

Deneylerde GG25/EN-GJL-250 pik döküm malzeme kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1. GG25 dökme demirin kimyasal bileşenleri (Düzce, 2021).

C	Fe	Mn	P	Si	S
%2.95-3.45	%92.63-94.26	%0.55-0.75	%0.10-0.20	%2.1-2.9	%0.040-0.070

Tablo 5.2. GG25 dökme demirin mekanik özellikleri (Düzce, 2021).

Yoğunluk	Sertlik Brinell	Çekme Dayanımı
7.30 g/cm ³	180	155 Mpa

Şekil 5.1’de ham ve işlenmiş parça görüntüsü, Şekil 5.2’de iş parçasının fikstür üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Ham ve işlenmiş parça görüntüleri.



Şekil 5.2. İş parçasının fikstür üzerindeki yerleşimi.

5.1.2. Takım tezgahı

Deneylerde 4 eksenli, çift paletli Doosan HP5500 yatay işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. CNC yatay işleme merkezi.

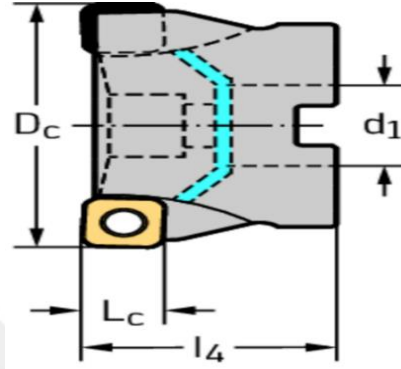
Tezgah özellikleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Tezgah özellikleri (Makinate).

Marka model	Doosan HP5500
Eksen sayısı	4
Palet boyutları	500x500
Palet sayısı	2
Maksimum tabla yüklemesi	800 kg
X eksen hareket mesafesi	800
Y eksen hareket mesafesi	700
Z eksen hareket mesafesi	750
B eksen dönme mesafesi	360 derece
Maksimum spindle dönme hızı	10.000 rpm
Spindle gücü	22 kW
Takım sayısı	60

5.1.3. Kesici takım ve kesici uçlar

İş parçasının kaba ve finiş frezeleme işlemlerinde Walter firmasının kesici takımları kullanılmıştır. Kaba frezeleme işleminde F4048.B27.063.Z06.10 kodlu 63 mm çapında 6 ağızlı kesici takım (Şekil 5.4), finiş işleminde F5141.B22.50.Z06.10 kodlu 50 mm çapında 6 ağızlı kesici takım (Şekil 5.5) kullanılmıştır.

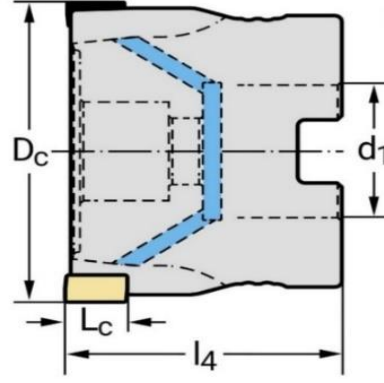


Şekil 5.4. Kaba freze takımı (Walter Online Katalog).

Kaba freze takımı boyutları Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4. Kaba freze takımı boyutları (Walter Online Katalog).

Kesme çapı (D_c)	63
Bağlantı çapı (d_1)	27
Maksimum bağlantı boyu (l_4)	50
Kesme uzunluğu (L_c)	10
Diş sayısı	6
Maksimum devir sayısı	15.000 rpm



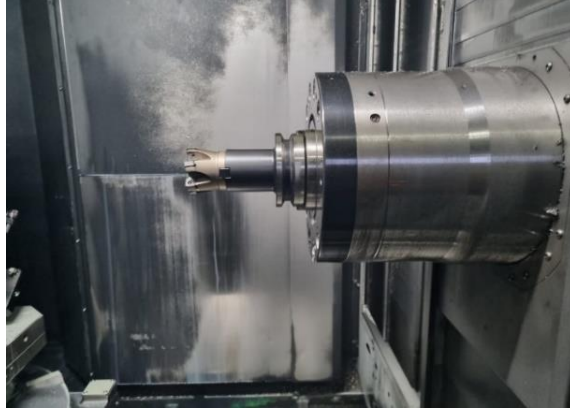
Şekil 5.5. Finiş freze takımı (Walter Online Katalog).

Finiş freze takımı boyutları Tablo 5.5’te verilmiştir.

Tablo 5.5. Finiş freze takımı boyutları (Walter Online Katalog).

Kesme çapı (D_c)	50
Bağlantı çapı (d_1)	22
Maksimum bağlantı boyu (l_4)	40
Kesme uzunluğu (L_c)	12
Diş sayısı	6
Maksimum devir sayısı	20.200 rpm

Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sırasıyla kaba ve finiş freze takımının tezgahdaki görüntüsü gösterilmiştir.

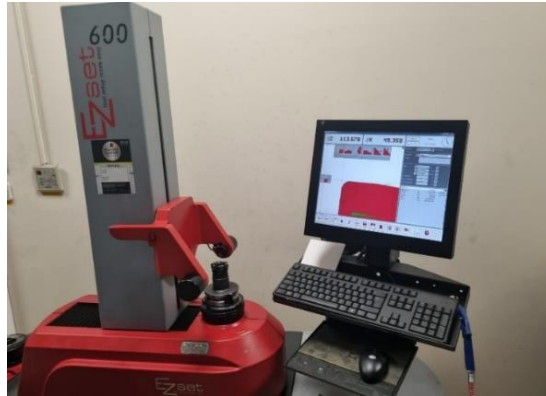


Şekil 5.6. Kaba freze takımının tezgahdaki görüntüsü.



Şekil 5.7. Finaş freze takımının tezgahdaki görüntüsü.

Takımlar tezgaha bağlanmadan önce boyları Ezset 600 takım ölçüm cihazında ölçülmüştür (Şekil 5.8).

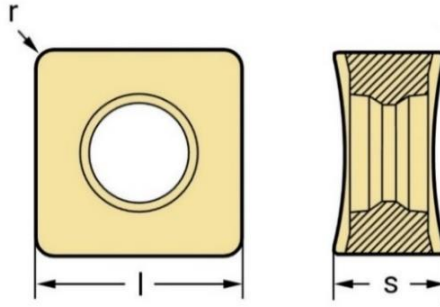


Şekil 5.8. Takım ölçüm cihazı.

İş parçasının kaba ve finiş frezeleme işlemlerinde Walter firmasının kesici uçları kullanılmıştır. Kaba frezeleme işleminde SNMX 120520-D27 WKK25S kodlu kare formlu kesici uçlar, finiş işleminde LNHU 130608R-L55T WKK25S kodlu eşkenar dörtgen formlu kesici uçlar kullanılmıştır. Şekil 5.9’da kaba ve finiş kesici uçlar, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de sırasıyla kaba ve finiş kesici uçlar gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kaba ve finiş freze uçları.

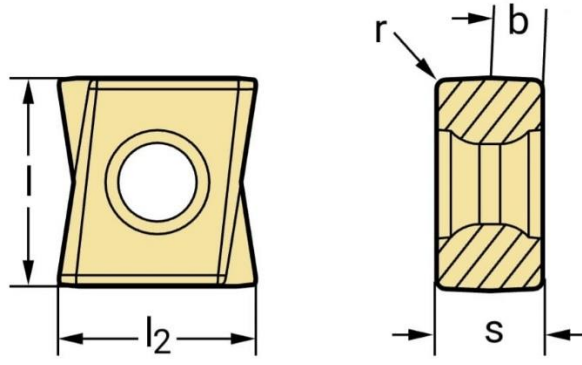


Şekil 5.10. Kaba freze ucu (Walter Online Katalog).

Kaba freze ucu boyutları Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6. Kaba freze uç boyutları (Walter Online Katalog).

Kesme kenarı sayısı	8
Kesme kenarı uzunluğu (l)	12,7
Kesici uç kalınlığı (s)	5,55
Köşe radyüsü	2
Uç açısı	90 derece



Şekil 5.11. Finiş freze ucu (Walter Online Katalog).

Finiş freze ucu boyutları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Finiş freze uç boyutları (Walter Online Katalog).

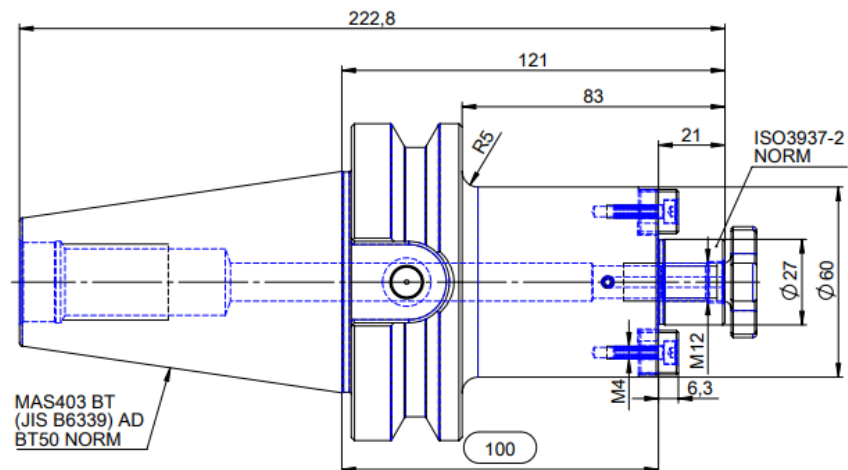
Kesme kenarı sayısı	4
Kesme kenarı uzunluğu (l)	13
Kesici uç genişliği (l_2)	12
Kesici uç kalınlığı (s)	6,8
Silici uç kesme kenarı uzunluğu (b)	2,2
Köşe radyüsü	0,8
Uç açısı	90 derece

5.1.4. Takım tutucular

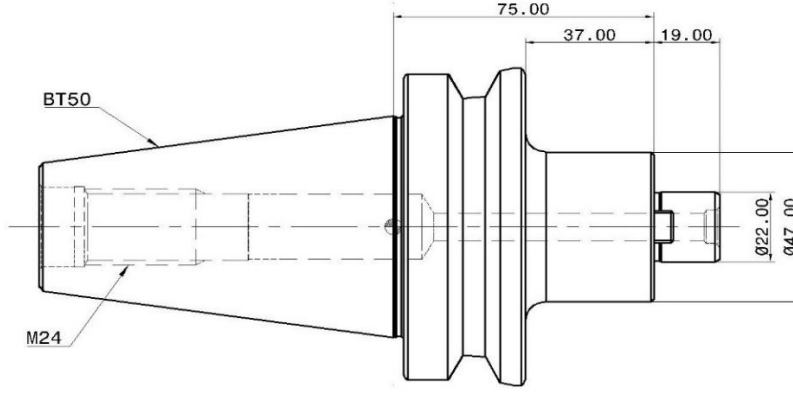
Deneylerde kaba freze takımı için Eroğlu firmasının SK 505.11.27.100 kodlu BT 50 takım tutucusu kullanılmıştır. Finiş freze takımı için ise ISCAR firmasının SEM 22x75 kodlu takım tutucusu kullanılmıştır. Şekil 5.12’de takım tutucular, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te sırasıyla kaba ve finiş freze takım tutucuların teknik resimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Takım tutucular.



Şekil 5.13. Kaba freze takım tutucusu teknik resmi (Eroğlu Online Katalog).



BT50 SEM 22X75

Şekil 5.14. Finiş freze takım tutucusu teknik resmi (Iscar Online Katalog).

5.1.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

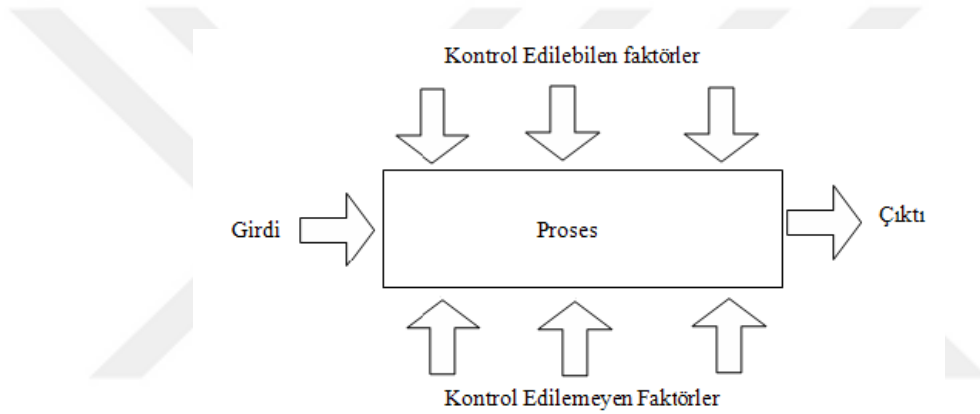
Deneylerde Mitutoyo SJ-400 marka ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.15). Örnek sayısı (n) 5, örnekleme uzunluğu (l) 2,5 mm, ölçüm uzunluğu (ln) 12,5 mm olarak alınmıştır. Ölçüm hızı 1 mm/sn'dir.



Şekil 5.15. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

5.2. Deney Tasarımı

Deney, çeşitli parametrelerin bir çıktı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Proses, bir girdiden (enerji, hammadde vb.) istenilen çıktının üretilmesi anında geçen işlemler bütünüdür. Bir proses kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi altında çalışır. Prosesin kararlılığı ve maksimum sayıda en iyi çıktıyı alabilmek için kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin minimum değerde tutulması istenir. Kontrol edilemeyen faktörlere işlem sırasında oluşan sıcaklık, ortamdaki nem ve toz örnek olarak verilebilir. Kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinden tamamen kaçınmak mümkün değildir (Çalışkan, 2014). Şekil 5.16'da bir prosesin genel modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Prosesin genel modeli (Çalışkan, 2014).

Deney tasarımı, bir proseste optimum çıktıyı sağlayabilmek için prosesin belirlenen parametrelerinin belirlenen değerlerinde değişiklikler yaparak gerçekleştirilen deneyler dizisidir. Deney tasarımı ile amaçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Çıktı üzerinde en etkili olan proses parametresinin tespit edilmesi
- Optimum veya yeterli sayılabilecek çıktıyı alabilmek için gerekli proses parametrelerinin değerlerinin tespit edilmesi
- Kontrol edilemeyen girdilerin (gürültünün) çıktı üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen proses parametrelerinin değerlerinin tespit edilmesi
- Matematiksel model ile ileriye dönük çıktı değerlerinin tahmin edilmesi

Bir deney tasarımının başarılı olabilmesi için problemin açık ve doğru şekilde belirlenmesi gereklidir. Sonraki aşamada ise probleme etki edecek proses parametreleri belirlenir. Her bir proses parametresi için eşit sayıda veya farklı sayıda değerler belirlenir. Deneyler yapılır ve deney sonuçlarına göre veriler analiz edilir. Verilerin analizinde ANOVA (varyans analizi) yöntemi kullanılabilir. Veri analizi sonuçlarına göre optimum çıktıyı veren proses parametreleri belirlenir. Belirlenen proses parametrelerine göre doğrulama deneyleri yapılır ve kurulan deney modelinin geçerliliği test edilir (Öztop, 2007).

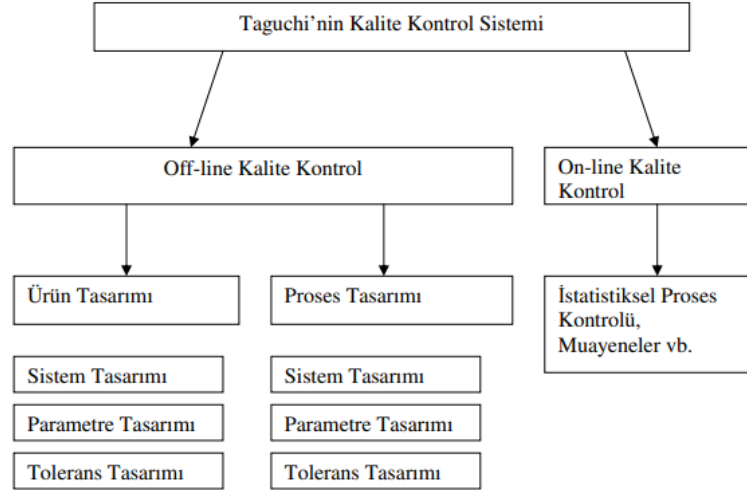
5.2.1. Taguchi yöntemi

İşletmelerde nihai amaç, müşterileri memnun edecek ürünler üretmektir. Fakat bu amacı gerçekleştirirken eldeki kaynaklar etkin kullanılmalı zaman ve maliyet doğru yönetilmelidir. Aksi takdirde büyük verimsizlikler ile karşılaşılır. Klasik deney tasarımının özellikle çok fazla proses parametresi olması durumunda bir çıktıdan en iyi sonucu elde etmek için kullanılması oldukça zor hale gelir.

Genichi Taguchi, kendi adıyla bilinen bu yöntemde çok az deneme ile çok iyi sonuçlar elde eden ortogonal dizileri geliştirmiştir. Ortogonal diziler, parametre değerlerini tek tek değiştirerek bir kombinasyon yapmaktansa parametre değerlerini aynı anda değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede yapılan deney sayısı azalır. Diğer önemli bir nokta deney tasarımının dengeli olmasıdır. Fakat Taguchi yönteminin esas amacı, kontrol edilebilen parametrelerin açısından etkin kontrol edilemeyen parametreler açısından duyarsız bir proses tasarlamaktır (Kapçak, 2022).

5.2.1.1. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi

Kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmalar Taguchi tarafından iki bölüme ayrılmıştır. Off-line kalite kontrol, ürün ve proses tasarımı safhalarında kullanılmaktadır. On-line kalite kontrol, ürünün yapım aşamasında gerçekleştirilen kontrolleri kapsar (Kapçak, 2022). Şekil 5.17'de Taguchi'nin kalite kontrol sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi (Öztop, 2007).

Off-line kalite kontrolün her iki yönteminde de ürünün kalitesini sağlamak için 3 aşama kullanılır. Bu kalite aşamaları sistem tasarımı, proses tasarımı ve tolerans tasarımıdır (Kapçak, 2022).

Sistem tasarımı; bu aşamada ürünün veya prosesin beklentileri karşılayabilmesi için gerekli üretim yöntemleri ve teknolojiler belirlenir. Ürünle ilgili pazar araştırması yapılır.

Parametre tasarımı; bu aşamada ürünün istenilen özellikleri için optimum değerler belirlenir. Burada amaç, üretim anına geçildiğinde ürün üzerindeki değişkenliklerin minimum seviyede olmasını sağlayabilmek ve böylece kaliteli ürünler üretebilmektir.

Tolerans tasarımı; bu aşamada parametre tasarımından bulunan değerlerin toleranslandırılması yapılır. Parametre tasarımında değişkenlik istenilen seviyeye kadar düşmemişse ve ürün üzerinde olumsuz etkiler içeriyorsa tolerans tasarımı da yapılır. Ürün üzerinde değişikliğe en fazla etki eden parametre belirlenir ve ürün kalitesini arttırmak için o parametre üzerinde yoğunlaşılır. Robust tasarım, proses kalitesinin kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmemesi amacıyla kontrol edilebilen parametrelerde ayarlamalar yaparak değişkenlikleri azaltma yöntemidir. Taguchi yönteminde robust tasarım S/N (sinyal/gürültü) oranı ile tanımlanır. Burada sinyal, proseste doğrudan hakim olabildiğimiz ve değişiklik yapabildiğimiz

parametrelerdir. Gürültü ise kontrol edemediğimiz fakat proses gereği kaçınamadığımız ve proses kalitesine olumsuz etkide bulunan parametrelerdir. Amaç, gürültü değerlerini minimum düzeyde tutarak kararlı ve kontrol altında bir proses yaratabilmektir. Taguchi yönteminde yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler S/N değerine çevrilir. İstenilen çıktının türüne göre S/N oranları 3'e ayrılmıştır (Öztop, 2007).

En büyük en iyi; bu deney tasarımında bağımlı değişkenin maksimum değerde olması istenir. Örnek olarak güç, verimlilik, kesici takım ömrü gibi bir değer bağımlı değişken ise bu tasarım kullanılır ve S/N oranı aşağıdaki gibi tanımlanır (Denklem 5.1).

$$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (5.1)$$

n: Deney sayısı

y_i : Deney sonuçları

Hedef değer en iyi; bu deney tasarımında bağımlı değişkenin nominal değerde tutulması istenir. Örnek olarak $\pm$ boyutsal toleransına sahip bir değer bağımsız değişken ise bu tasarım kullanılır ve S/N oranı aşağıdaki gibi tanımlanır (Denklem 5.2).

$$\frac{S}{N} = -10\log\left(\frac{y}{s^2}\right) \quad (5.2)$$

y: Performans karakteristiği değeri

s^2 : Varyans

En küçük en iyi; bu deney tasarımında bağımlı değişkenin sıfır olması istenir. Ürünün toplam kalitesine olumsuz yönde etkileyen bir değer bağımsız değişken ise bu tasarım kullanılır. Örnek olarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması gibi parametrelerde bu tasarım kullanılır. S/N oranı aşağıdaki gibi tanımlanır (Denklem 5.3).

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (5.3)$$

n: Deney sayısı

y_i : Deney sonuçları

5.2.2. Taguchi deney tasarımı aşamaları

Taguchi yönteminde aşamalar aşağıdaki gibidir (Yanar, 2008).

- Değerlendirilecek parametre ve etkileşimlerin belirlenmesi
- Her bir parametreye ait değerlerin belirlenmesi
- Deney için uygun ortogonal dizilerin belirlenmesi
- Deneylerin yapılması
- Deney sonuçlarının analizi
- Optimum değerler için doğrulama deneylerinin yapılması

Taguchi deney tasarımında ilk olarak probleme etki edebilecek parametreler belirlenir. Parametreler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametreler olmak üzere 2'ye ayrılır ve kontrol edilebilen parametre sayısına göre deneyler tasarlanır.

Parametreler belirlendikten sonra her bir parametre için değerler belirlenir. Değerler her parametre için eşit sayıda veya farklı sayıda olabilir. Serbestlik dereceleri parametrelerin seviyelerinden hesaplanır. Bir parametre için serbestlik derecesi o parametrenin seviyesinin bir eksiği olarak hesaplanır. Her parametrenin ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamı sistemin toplam serbestlik derecesini verir.

Çok sayıdaki deneysel durumu açıklamak için ortogonal diziler kullanılır. Bu diziler sayesinde birçok parametrenin farklı değerleri aynı anda test edilebilir. Ortogonal diziler L8, L9, L18, L27 vb. şeklinde gösterilir. Dizilerin seçimi parametre sayısına ve değerlerine göre yapılır. Ld ile gösterilen bir ortogonal dizide L ortogonal diziyi, d deney sayısını gösterir. Ortogonal dizi yani deney sayısı seçildikten sonra parametreler ve değerleri atanır.

Ortogonal diziler belirlenip, parametreler ve değerleri atandıktan sonra deney uygulaması aşamasına geçilir. Deney sayısı ve deneylerde hangi parametrenin hangi değerinin kullanılacağı ortogonal dizilerden alınır ve deneyler buna göre yapılır.

Deney sonuçlarına göre ortaya çıkan veriler analiz edilir. Veri analizinde ANOVA (varyans analizi) yöntemi kullanılır. ANOVA, deneyi yapılan ürün gruplarının tüm ortalama değerden olan uzaklığını bulmak için geliştirilmiş bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntemde hangi parametrenin istenilen çıktıda en etkin parametre olduğu bulunur. İlk olarak her parametre için serbestlik derecesi bulunur ve daha sonra sistemin toplam serbestlik derecesi ve hatanın serbestlik derecesi bulunur. Toplam serbestlik derecesi ve herhangi bir parametrenin serbestlik derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 5.4 ve Denklem 5.5).

$$V_T = N - 1 \quad (5.4)$$

V_T : Toplam serbestlik derecesi

N : Toplam deney sayısı

$$V_A = k_A - 1 \quad (5.5)$$

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

k_A : A faktörünün seviye sayısı

Hatanın serbestlik derecesi, toplam serbestlik derecesinden tüm faktörlerin serbestlik derecelerinin çıkartılmasıyla elde edilir (Denklem 5.6).

$$V_0 = V_T - V_A - V_B - \dots \quad (5.6)$$

V_0 : Hata serbestlik derecesi

V_T : Toplam serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi, parametrelerin serbestlik dereceleri ve hatanın serbestlik derecesi hesaplandıktan sonra her bir faktörün kareler toplamı, toplam kareler toplamı ve hatanın kareler toplamı hesaplanır. Toplam kareler toplamı ile çıktı üzerindeki tüm parametrelere bağlı olarak ortaya çıkan varyans hesaplanmış olur. Toplam kareler toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 5.7).

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2 \quad (5.7)$$

SS_T : Toplam kareler toplamı

y_i : i.deneyin sonucu

y_m : Ortalama deney sonucu

Bu değer, toplam değişkenliği gösterir ve her bir faktörün kareler toplamı ile hatanın kareler toplamından elde edilir. A faktörünün kareler toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 5.8).

$$SS_A = \sum_{i=1}^{k_A} [y_{Ai}(y_A - y_m)^2] \quad (5.8)$$

SS_A : A faktörünün kareler toplamı

k_A : A faktörünün deneydeki seviye sayısı

y_{Ai} : A faktörünün i seviyesinde yapılan deney sayısı

y_A : A faktörünün i seviyesindeki ortalama deney sonuçları

y_m : Tüm ortalama deney sonuçları

Hata kareler toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 5.9).

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - \dots \quad (5.9)$$

SS_E : Hata kareler toplamı

SS_T : Toplam kareler toplamı

Varyans analizinin bir sonraki adımında her bir faktörün ve hatanın kareler ortalaması hesaplanır. A faktörü için kareler ortalaması, A faktörünün kareler toplamının A faktörünün serbestlik derecesine bölünmesi ile elde edilir (Denklem 5.10). Hatanın kareler ortalaması, hatanın kareler toplamının hatanın serbestlik derecesine bölünmesi ile elde edilir (Denklem 5.11).

$$SS_{A,ort} = \frac{SS_A}{V_A} \quad (5.10)$$

$SS_{A,ort}$: A faktörünün ortalama kareler toplamı

SS_A : A faktörünün kareler toplamı

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

$$SS_{E,ort} = \frac{SS_E}{V_0} \quad (5.11)$$

$SS_{E,ort}$: Hatanın ortalama kareler toplamı

SS_E : Hatanın kareler toplamı

V_0 : Hatanın serbestlik derecesi

Faktörlerin ortalama kareler toplamının hatanın ortalama değerine bölünmesi ile F değeri hesaplanır (Denklem 5.12). F testi ile deney sonuçlarında ortaya çıkan farklılıklar etkisi araştırılan faktörlerden mi, uygulanan yöntemden mi veya tesadüfen mi ortaya çıktığı araştırılır. Ve hangi faktörün çıktı üzerinde anlamlı bir değişkenlik ortaya çıkarttığı analiz edilir.

F değeri kurulan hipotezin kabul edilip edilmeyeceğini gösterir. H_0 hipotezi, deneylerden elde edilen sonuçların etkisi araştırılan faktör ile bir ilgisi yoktur anlamına gelir. H_1 hipotezi ise deneylerden elde edilen sonuçların etkisi araştırılan faktör ile ilgilidir anlamına gelir. Deneysel çalışmalarda H_0 hipotezinin reddedilmesi istenir. F değeri 0,05 ve 0,01 anlamlılık değerlerine göre sorgulanır (Çalışkan, 2014).

$$F = \frac{\text{Kareler Ortalaması}}{\text{Hata Kareler Ortalaması}} \quad (5.12)$$

F değerinin yorumlanmasında F cetvelinden yararlanılır. Örnek olarak A faktörünün F değerini araştırarak olursak; A faktörünün serbestlik derecesi a, hatanın serbestlik derecesi b olsun. 0,05 ve 0,01 anlamlılık değerlerine göre A faktörünün a serbestlik derecesinde, hatanın ise b serbestlik derecesinde olduğu değerler F cetvelinden okunur. Daha sonra denklem 5.12 yardımıyla F değeri hesaplanır. Hesaplanan F değeri, cetveldен okunan değerler ile karşılaştırılır ve H_0 hipotezinin kabul edileceği veya reddedileceği kararı verilebilir.

P değeri ise H_0 hipotezi reddedildiği durumlarda hata yapma olasılığımızı gösterir. P değeri ne kadar küçük ise H_0 hipotezini reddedebilecek o kadar çok veri vardır anlamı çıkarılabilir (Kul, 2014). P değerinin yorumlanması Tablo 5.8’de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. P değerinin yorumlanması (Kul, 2014)

P değeri	Yorumu
$0.01 \leq p < 0.05$	İstatistiksel anlamlılık
$0.001 \leq p < 0.01$	Yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık
$p < 0.001$	Çok yüksek istatistiksel anlamlılık
$0.05 \leq p < 0.10$	Anlamlılık eğilimi(sınırdan anlamlılık)
$p > 0.10$	Fark tesadüften ileri gelmiştir (istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır)

Taguchi yönteminin son aşamasında belirlenen optimum değerlere göre doğrulama deneyleri yapılır. Doğrulama deneyi sonuçları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak (Denklem 5.13 ve Denklem 5.14) ve hesaplanan güven aralığı değeri dikkate alınarak değerlendirilir (Sabırlı, 2020).

$$G.A = \sqrt{F_{0,05}(1, v_e) V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (5.13)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_T} \quad (5.14)$$

G.A: Güven aralığı

$F_{0,05}(1V_e)$: Hata serbestlik derecesi dikkate alınarak F cetvelinden okunan değer

V_e : Hata varyansı

N: Toplam deney sayısı

V_T : Faktörlerin serbestlik derecelerinin toplamı veya toplam serbestlik derecesi ile hata serbestlik derecesi arasındaki fark

r: Doğrulama deney sayısı

Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılık düzeyinde geçerli olup olmadığını belirleyebilmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır (Denklem 5.15). Doğrulama deneylerinin ortalama sonucu Y_{ort} aşağıdaki istenilen aralıkta olması durumunda optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılıkta başarılı olduğunu gösterir (Sabırlı, 2020).

$$Y_{opt} - G.A < Y_{ort} < Y_{opt} + G.A \quad (5.15)$$

Y_{opt} : Optimum parametre değerleri ile yapılan tahmini deney sonucu

G.A: Güven aralığı

Y_{ort} : Doğrulama deneylerinin ortalama sonucu



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada talaşlı imalat proses parametrelerinden olan kesme hızı, devir başına ilerleme, talaş derinliği ve kesme yönünün parça üzerindeki yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Ø63 ve Ø50 frezeler ile yatay işleme merkezinde pik döküm malzemelerin kuru ortamda frezeleme işlemleri yapılmıştır. Kaba frezeleme işlemlerinde sabit olarak 1500 devir/dk ve 1200 mm/dk ilerleme hızı yani 0,8mm/devir devir başına ilerleme ve 0,133 uç başına ilerleme kullanılmıştır. Finiş frezeleme işlemi son operasyon olduğu için deneysel çalışmalarda Ø50 frezenin çalışma şartları değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Devir değerleri olarak 1800, 2000 ve 2200 devir/dk yani 282, 314 ve 345 m/dk kesme hızı; 0,15, 0,40 ve 0,65 mm/devir devir başına ilerleme; 0,2, 0,5 ve 0,8 mm talaş derinliği; aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme işlemleri yapılmıştır. Dört farklı proses parametresinden kesme hızı, devir başına ilerleme ve talaş derinliği için 3 farklı değer; kesme yönü için 2 farklı değer kullanılmış olup, Taguchi deneysel tasarım yöntemine göre $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ dizaynı seçilmiştir. L_{18} ortogonal dizisi Tablo 6.1’de verilmiştir. Ortogonal dizide kullanılan faktörler ve seviyeleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Deneysel çalışmanın amacı, farklı proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmaktır. İstenilen pürüzlülük değeri en düşük olanıdır. Bu nedenle Minitab programında sinyal/gürültü (S/N) oranı için en küçük en iyidir seçilmiştir. Analizler Taguchi L_{18} ortogonal dizisine göre yapılmış ve pürüzlülük değerlerinin değerlendirilmesinde S/N oranı esas alınmıştır. Her bir faktörün seviyesi için en büyük S/N oranı yüzey pürüzlülüğünün optimum değeri olarak kabul edilir.

Tablo 6.1. L18 ortogonal dizi

Deney Nu	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

Tablo 6.2. Ortogonal dizi matrisindeki faktörler ve seviyeler

Sembol	Faktörler	Seviyeler		
		1	2	3
A	Kesme yönü	Eş yönlü	Zıt yönlü	
B	Kesme hızı (Vc)	282	314	345
C	Devir başına ilerleme (f)	0,15	0,40	0,65
D	Talaş derinliği (ap)	0,2	0,5	0,8

L₁₈ ortogonal dizinine göre toplam 18 deney yapılmış olup, her bir parçanın yüzey pürüzlülük değerleri Ra cinsinden ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan faktörlerin seviyeleri, deneylerin sonuçları ve S/N oranları Tablo 6.3'te verilmiştir. Birinci aşamada deney sonuçlarına göre S/N grafikleri çizdirilmiş, buna göre faktörlerin optimum seviyeleri ve yüzey pürüzlülüğüne en etkili olan faktör bulunmuştur. İkinci aşamada ANOVA analizi yapılmış, faktörlerin deney sonuçlarına yüzdelik olarak etkisi, istatistiksel olarak anlamlılığı araştırılmış ve regresyon denklemleri çıkartılmıştır. Üçüncü aşamada her bir deneyin tahmini sonuçları Minitab programına hesaplatılmış ve gerçek deney sonuçları ile %95 güven aralığında karşılaştırılmıştır. Dördüncü aşamada optimum seviyelere göre 10 adet doğrulama deneyi yapılmış, deney sonuçlarının ortalama değeri Minitab üzerinden hesaplanan tahmini ortalama değer ile karşılaştırılarak optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılık düzeyindeki başarısı araştırılmıştır.

6.1. Deney Sonuçları ve Optimizasyon

Taguchi L₁₈ dizaynına göre yapılan deneylerin sonuçları ve S/N oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.3. Deney sonuçları

Deney nu	Kesme yönü	Kesme hızı (Vc)	Devir başına ilerleme (f)	Talaş derinliği (ap)	Yüzey pürüzlüğü (Ra)	S/N
1	Eş	282	0,15	0,2	0,439	7,151
2	Eş	282	0,40	0,5	0,666	3,531
3	Eş	282	0,65	0,8	1,075	-0,628
4	Eş	314	0,15	0,2	0,450	6,936
5	Eş	314	0,40	0,5	0,651	3,728
6	Eş	314	0,65	0,8	1,316	-2,385
7	Eş	345	0,15	0,5	0,415	7,639
8	Eş	345	0,40	0,8	0,779	2,169
9	Eş	345	0,65	0,2	0,934	0,593
10	Zıt	282	0,15	0,8	0,413	7,681
11	Zıt	282	0,40	0,2	0,450	6,936
12	Zıt	282	0,65	0,5	0,441	7,111
13	Zıt	314	0,15	0,5	0,336	9,473
14	Zıt	314	0,40	0,8	0,631	3,999
15	Zıt	314	0,65	0,2	0,976	0,211
16	Zıt	345	0,15	0,8	0,577	4,776
17	Zıt	345	0,40	0,2	0,592	4,554
18	Zıt	345	0,65	0,5	0,656	3,662

6.1.1. Optimizasyon

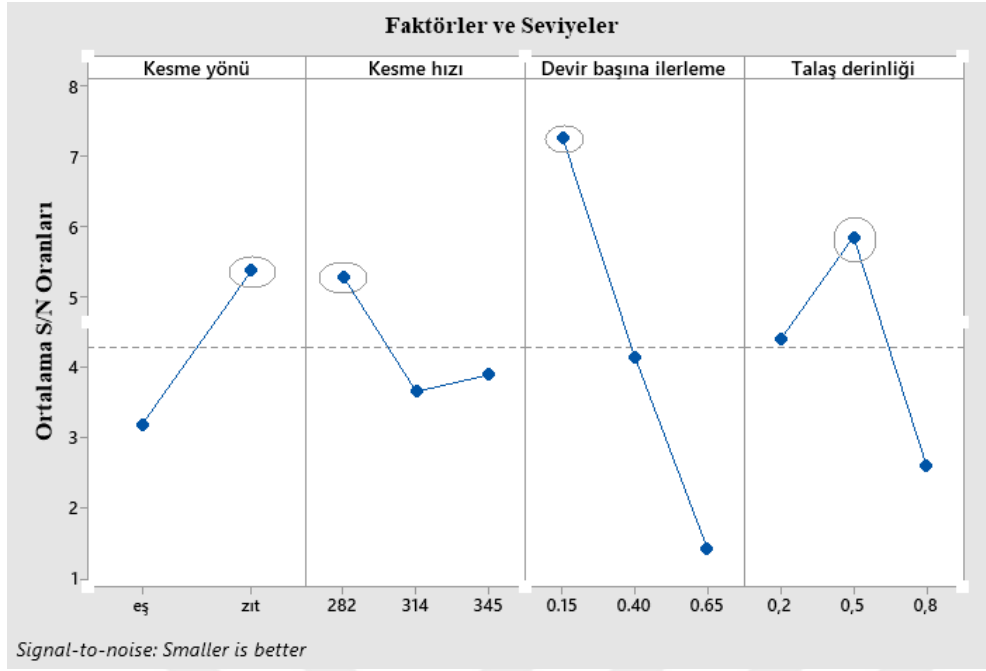
Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde ve optimizasyon çalışmasında S/N oranlarından yararlanılmıştır. Her bir faktörün seviyesi için yapılan deneylerde hesaplanan S/N oranlarının ortalaması alınmıştır. Daha sonrasında her bir faktörün seviyesinin en yüksek ve en düşük ortalama S/N oranları arasındaki fark alınmıştır. Seviyeleri arasında en yüksek fark çıkan faktör yüzey pürüzlüğü üzerinde en yüksek etkiye sahiptir.

Optimizasyon aşamasında ise faktörlerin seviyeleri için hesaplanan ortalama S/N oranlarından en yüksek olan seviyeler seçilmiştir. Seviyeler için ortalama S/N oranları ve faktörlerin deney sonuçlarındaki etki derecesi Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Seviyelerin ortalama S/N değerleri ve deney sonuçlarına etki derecesi

Seviye	Kesme yönü	Kesme hızı (Vc)	Devir başına ilerleme (f)	Talaş derinliği (ap)
1	3,193	5,297	7,276	4,397
2	5,378	3,660	4,153	5,287
3		3,899	1,427	2,602
Fark	2,186	1,636	5,849	3,255
Etki derecesi	3	4	1	2

Deney sonuçlarından elde edilen S/N grafikleri Minitab programından alınmıştır. Grafiklere göre; zıt yönlü kesme, 282 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/devir devir başına ilerleme ve 0,5 mm talaş derinliği bu deneysel çalışma için optimum değerler olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sonuçları Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Deneylerin optimum sonuçları.

6.2. Deney Sonuçlarının Analizi

Elde edilen deney sonuçları üzerinden ANOVA analizi yapılmıştır. Her bir faktörün serbestlik derecesi, kareler toplamı, ortalama kareler toplamı, deney sonuçlarına yüzdesel etkisi, F ve P değerleri hesaplanmıştır. ANOVA analizi Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Deney sonuçlarının ANOVA analizi.

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Dağılım	Ortalama Kareler Toplamı	P
Kesme yönü	1	0,15180	%12,50	0,15180	0,00678
Kesme hızı	2	0,06405	%5,27	0,03203	0,13724
Devir başına ilerleme	2	0,64515	%53,11	0,32258	0,00014
Talaş derinliği	2	0,22241	%18,31	0,11120	0,00706
Hata	10	0,13135	%10,81	0,01314	
Toplam	17	1,21477	%100		

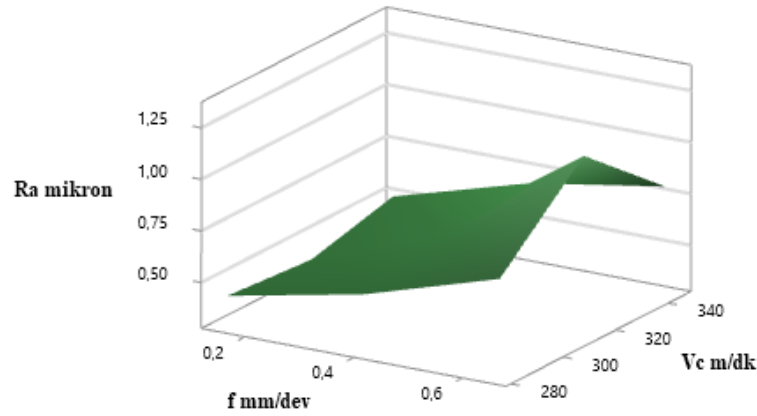
Kesme yönü ve devir başına ilerleme değerlerine göre; kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak değişen Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri için regresyon denklemleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6. Regresyon denklemleri.

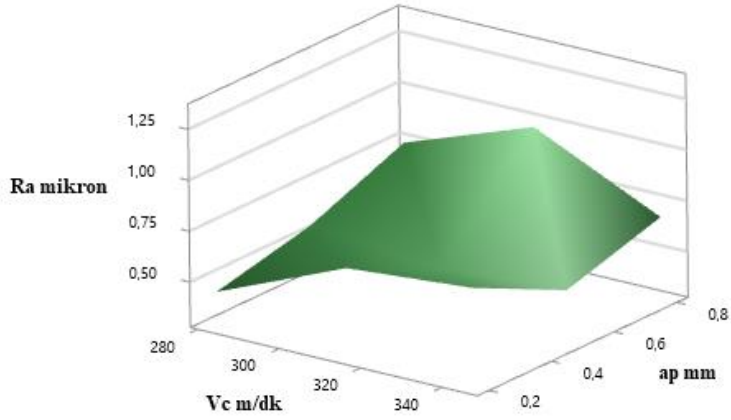
Kesme yönü	Devir başına ilerleme (f)	Regresyon denklemi
Eş	0,15	$Ra = 0,03 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$
Eş	0,40	$Ra = 0,193 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$
Eş	0,65	$Ra = 0,465 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$
Zıt	0,15	$Ra = -0,180 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$
Zıt	0,40	$Ra = 0,010 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$
Zıt	0,65	$Ra = 0,281 + 0,0126 \text{ Kesme hızı} + 0,264 \text{ Talaş derinliği}$

6.2.1. Deney grafikleri

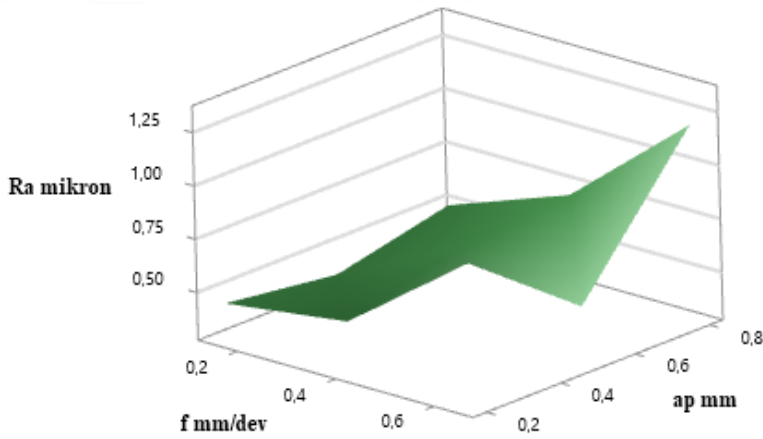
Elde edilen deney sonuçlarına göre parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi 3D grafiklerle Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’te gösterilmiştir.



Şekil 6.2. İlerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.



Şekil 6.3. Kesme hız ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.



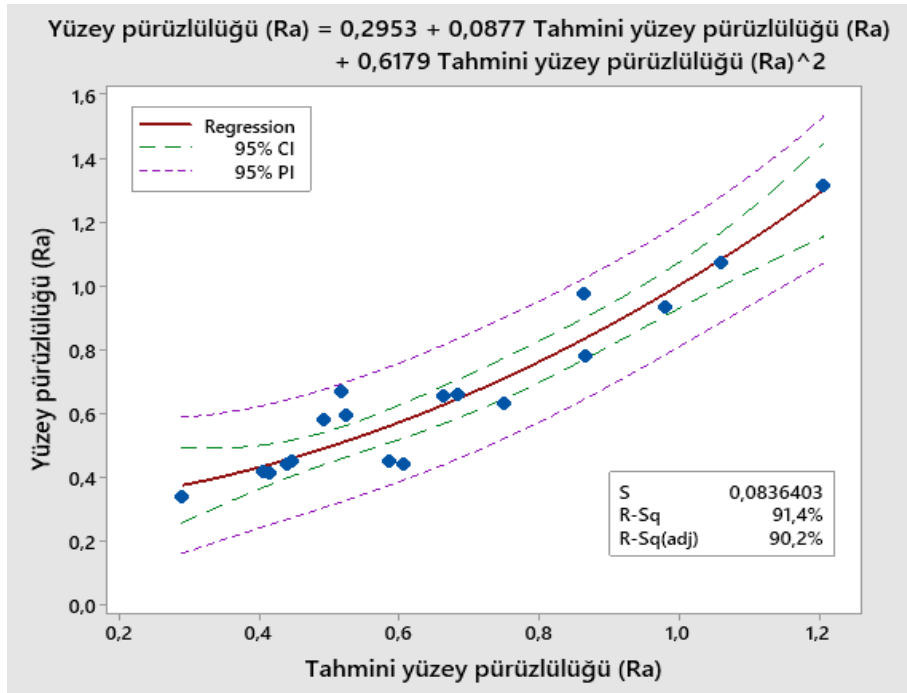
Şekil 6.4. İlerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

6.3. Deney Sonuçlarının Tahmini Sonuçlar ile Karşılaştırılması

Deneyin bu aşamasında gerçek deney sonuçları ile Minitab üzerinden hesaplanan tahmini sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. %95 güven aralığında yapılan bu karşılaştırmada deney modelinin R^2 değeri %91,4 hesaplanmıştır. Tahmini deney sonuçları Tablo 6.7’de verilmiştir. Gerçek deney sonuçları ile tahmini deney sonuçlarının karşılaştırma grafiği Şekil 6.5’te gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Tahmini deney sonuçları.

Deney Nu	Kesme yönü	Kesme hızı (Vc)	Devir başına ilerleme (f)	Talaş derinliği (ap)	Tahmini sonuçlar (Ra)
1	Eş	282	0,15	0,2	0,440
2	Eş	282	0,40	0,5	0,517
3	Eş	282	0,65	0,8	1,060
4	Eş	314	0,15	0,2	0,586
5	Eş	314	0,40	0,5	0,663
6	Eş	314	0,65	0,8	1,206
7	Eş	345	0,15	0,5	0,406
8	Eş	345	0,40	0,8	0,867
9	Eş	345	0,65	0,2	0,980
10	Zıt	282	0,15	0,8	0,415
11	Zıt	282	0,40	0,2	0,446
12	Zıt	282	0,65	0,5	0,605
13	Zıt	314	0,15	0,5	0,290
14	Zıt	314	0,40	0,8	0,751
15	Zıt	314	0,65	0,2	0,864
16	Zıt	345	0,15	0,8	0,493
17	Zıt	345	0,40	0,2	0,525
18	Zıt	345	0,65	0,5	0,683



Şekil 6.5. Gerçek deney sonuçları ile tahmini deney sonuçlarının karşılaştırılması.

6.4. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Çalışmanın bu aşamasında belirlenen optimum faktör seviyelerine göre 10 adet doğrulama deneyi yapılmış ve deney sonuçlarının ortalama değeri alınmıştır. Minitab üzerinden optimum seviyelerde ortalama tahmini yüzey pürüzlülüğü değeri hesaplatılmıştır. Minitab sonuçları ve gerçek deney sonuçları %95 güven aralığında karşılaştırılmıştır. Doğrulama deneylerinin sonuçları Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.8. Doğrulama deneylerinin sonuçları.

Deney nu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ra	0,335	0,272	0,245	0,247	0,209	0,227	0,288	0,215	0,244	0,261

Zıt yönlü kesim, 282 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/devir devir başına ilerleme ve 0,5 mm talaş derinliğinde yapılan 10 adet doğrulama deneylerinin ortalama sonucu 0,254 mikron olarak bulunmuştur.

Minitab programından alınan tahmini Taguchi değeri Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

Prediction

Mean
0,144

Settings

Kesme yönü	Devir Kesme başına hızı ilerleme	Talaş derinliği
zıt	282 0.15	0,5

Şekil 6.6. Proses parametrelerinin optimum değerleri ve tahmini değer.

Denklem 5.13 ve Denklem 5.14'ten yararlanılarak deneysel modelin güven aralığı hesaplanmıştır. Deneysel modeldeki v_e hata varyansı 10'dur. Buna göre $F_{0,05}(1,10)$ değeri F cetvelinden 4,965 olarak okunmuştur. V_e , hata kareler toplamının ortalaması 0,01314 olarak alınmıştır. N toplam deney sayısı 18, V_T toplam serbestlik derecesi 7, r doğrulama deneyi sayısı 10'dur. Bu değerler Denklem 5.13 ve Denklem 5.14'te yerine yazıldığında aşağıdaki eşitlikten güven aralığı değeri hesaplanmıştır.

$$G.A = \sqrt{4,965 \times 0,01314 \times \left(\frac{1}{2,25} + \frac{1}{10}\right)} = 0,188$$

Deney modelinin güven aralığı ve tahmini Taguchi değerlerine göre Denklem 5.15'ten yararlanılarak modelin 0,05 anlamlılık düzeyinde geçerliliği araştırılmıştır.

$$0,144 - 0,188 < Y_{deney} < 0,144 + 0,188$$

Optimum faktör seviyelerinde yapılan deney sonuçlarının ortalaması 0,254 değeri tahmin aralığı içerisinde olduğu için Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılık düzeyinde geçerli olduğu kabul edilir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GG25 pik döküm malzemenin kuru ortamda yüzey frezeleme işlemleri yapılmıştır. Frezeleme işlemi doğası gereği darbeli bir talaşlı imalat yöntemidir. Kesici kenar kesime girdiğinde ve kesimden çıktığında sıcaklık değişimleri yükselir. Kesme bölgesi ne kadar yüksek olursa kesme sıvısının kullanımı o kadar uygunsuz hale gelir. Oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı frezeleme işlemleri kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır.

Takımın dönme yönü ile ilerleme yönünün aynı (eş yönlü), takımın dönme yönü ile ilerleme yönünün ters (zıt yönlü) takım yolları kullanılarak üç farklı kesme hızı, devir başına ilerleme ve talaş derinliği kullanılmıştır. Toplamda dört proses parametresi için L_{18} Taguchi ortogonal dizisi kullanılarak 18 adet deney yapılmıştır. Çalışmadaki amaç, az deney sayısı ile dört proses parametresinin optimum değerlerini bulmak ve parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmaktır. Kesme hızı, devir başına ilerleme ve talaş derinliği değerleri için kesici takım firmasının önerdiği aralıktaki değerler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar yatay işleme merkezinde hidrolik fikstür kullanılarak 150 bar sıkma basıncı altında yapılmıştır. Kesici uçlardaki aşınmanın yüzey pürüzlülüğüne etkisini en aza indirmek için her deney parçasının işlenmesinden sonra freze uçlarının kesici köşeleri değiştirilmiştir. Deneyler öncesinde takım tutucuların salgısı fener mili üzerinden kompratör ile kontrol edilmiştir.

Deney sonuçları S/N oranına çevrilerek her bir proses parametresinin optimum değeri bulunmuştur. Deneysel çalışma sonuçlarına göre zıt yönlü kesim, 282 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/devir ilerleme ve 0,5 mm talaş derinliği optimum değer olarak belirlenmiştir.

7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tablo 6.4'te gösterilen ortalama S/N değerlerine göre; zıt yönlü kesim ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, aynı yönlü kesim ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden %40 oranında daha düşük çıkmıştır.

Kesme hızının 282 m/dk'dan 314 m/dk değerine çıktığında yüzey pürüzlülük değerinin %30 oranında arttığı; kesme hızının 314 m/dk'dan 345 m/dk'ya çıkartılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin %6 oranında düştüğü gözlemlenmiştir.

Devir başına ilerleme değeri 0,15 mm/devir'den 0,40 mm/devir değerine çıkartıldığında yüzey pürüzlülük değerinin %50 oranında arttığı; 0,40 mm/devir den 0,65 mm/devir'e çıkartıldığında ise yüzey pürüzlülük değerinin %34 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Talaş derinliği 0,2 mm'den 0,5 mm'ye yükseltildiğinde yüzey pürüzlülük değerinin %25 oranında azaldığı; 0,5 mm'den 0,8 mm'ye yükseltildiğinde ise yüzey pürüzlülük değerinin %55 oranında yükseldiği görülmüştür.

ANOVA analizi sonuçlarına göre; yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametreler sırasıyla devir başına ilerleme, talaş derinliği, kesme yönü ve kesme hızı olarak belirlenmiştir. P değerleri incelendiğinde kesme hızı dışındaki tüm deney parametreleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Deneyisel sonuçlardan sonra Minitab programında tahmini deney sonuçları hesaplatılmış ve gerçek sonuçlar ile karşılaştırılarak deney modelinin geçerliliği %91,4 olarak bulunmuştur.

Taguchi deney tasarımına göre elde edilen optimum değerlerle 10 adet doğrulama deneyi yapılmış ve doğrulama deney sonuçlarının ortalaması Minitab'ten hesaplatılan ortalama optimum deney sonucu ile karşılaştırılarak, optimizasyon çalışmasının geçerliliği kabul edilmiştir.

7.2. Öneriler

Bu çalışmada iş parçası olarak pik döküm malzeme kullanılmış ve zıt yönlü frezeleme işleminde yüzey pürüzlük değerleri daha düşük çıkmıştır. Aynı çalışma

elik ve alüminyum alaşımları ile yapılıp kesme yönünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenebilir.

Çalışmada incelenen kesme hızı, devir başına ilerleme, talaş derinliğı gibi parametrelere ek olarak takımın talaşa giriş açısı, iş parçası geometrisi ve freze çapına bağılı olarak yanal paso, freze üzerindeki kesici uç sayısı gibi parametreler de yüzey pürüzlüğü üzerinde etkili olabilir.

Deney sonuçları frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrenin devir başına ilerleme olduğunu göstermiştir. Bu değeri düştükçe özellikle iyi yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Fakat düşük ilerleme, kesici ucun iş parçası üzerinde temas edeceği süreyi arttıracğından dolayı kesici uç üzerinde aşınmalar sık meydana gelir. Bu da kesici uç maliyetini ve parça işleme süresini olumsuz etkileyecektir. Seri üretim için proses parametreleri belirlenmeden önce teknik resimde istenilen değeri çok iyi analiz edilmelidir.



KAYNAKLAR

- Akgün, M., ve Kara, F. (2021). Analysis and Optimization of Cutting Tool Coating Effects on Surface Roughness and Cutting Forces on Turning of AA 6061 Alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/6498261>
- Anonim. Used DOOSAN ACE HP 5500 horizontal machining center. <https://makinate.com/doosan-ace-hp-5500-m2205628730/> adresinden 3 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Ateş, S., Er, A.O., Aslan, E., ve Camuşcu, N. (2006, Ocak). Sertleştirilmiş P20 Çeliğinin Kübik Bor Nitrür (CBN) Kesici Takımlarla Yüksek Hızlarda Frezelenmesi [Sözlü Sunum]. The 12th International Conference on Machine and Production, Kuşadası, Turkey.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). İmalata giriş. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 36) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Döküm yöntemleri. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 95) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Toz metalurjisi. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 248) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Talaşlı imalat yöntemleri. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 258-334) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Modern imalat yöntemleri. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 381) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Kaynak yöntemleri. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 409) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2022). Eklemeli imalat teknolojileri. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri (5. Baskı, ss. 516) içinde. Seçkin Yayınevi.
- Baharudin, B.T.H.T., Ibrahim, M.R., Ismail, N., Leman, Z., Ariffin, M.K.A., ve Majid, D.L. (2012). Experimental Investigation of HSS Face Milling to AL6061 using Taguchi Method. *Procedia Engineering*, 50, 933-941. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.10.101>

- Bozkurt, S. (2019). *AA7075 T651 Alüminyum alaşımasının tornada işlenmesinde kesme parametrelerinin geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Can, A. (2003). *AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Çakır, M.C. (2018). Tornalama. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri (3. Baskı, ss. 3-12) içinde. Dora Yayınevi.
- Çakır, M.C. (2018). Delik işleme. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri (3. Baskı, ss. 73) içinde. Dora Yayınevi.
- Çakır, M.C. (2018). Vida çekme. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri (3. Baskı, ss. 160) içinde. Dora Yayınevi.
- Çakır, M.C. (2018). Frezeleme. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri (3. Baskı, ss. 219-265) içinde. Dora Yayınevi.
- Çakır, M.C. (2018). Delik delme. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri (3. Baskı, ss. 413) içinde. Dora Yayınevi.
- Çalışkan, O. (2014). *Tornalamada talaş kaldırma parametrelerinin takım ömrüne etkilerinin Taguchi yaklaşımıyla incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Çodur, Y. (2022). *Yaşlandırma uygulanmış 6063-T6 alüminyum alaşımasının frezeleme işleminde kesme parametrelerinin form hatalarına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Düzce, R. (2022). *Endüstriyel gri ve küresel grafitli (SFERO) dökme demirin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığına etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Düzce Üniversitesi.
- Eroğlu Online Katalog. Alın kamalı malafa. [https://www.eroglumakina.com/tr/urunler/jis-b-6339-\(mas-403-bt\)/bt-50/alin-kamali-malafa](https://www.eroglumakina.com/tr/urunler/jis-b-6339-(mas-403-bt)/bt-50/alin-kamali-malafa) adresinden 25 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Gadelmavla, E.S., ve Koura, M.M. (2002). Roughness Parameter. *Journal of Material Processing Technology*, 123, 133-145.
- Gezgin, A. (2007). *Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Hussain, S.M., ve Tiwari, D. (2020). Determining the Effect of Cutting Parameters in CNC Turning. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 07(2), 468-478.
- Iscar Online Katalog. Tooling systems. <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=4530005&fnum=1238&mapp=IT&GFSTYP=M&srch=1> adresinden 25 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.

- Kapçak, E. (2022). *Taguchi metodu kullanılarak kaynak proses parametrelerinin optimizasyonu: somun kaynak operasyonu için bir uygulama* [Yüksek lisans tezi]. Balıkesir Üniversitesi.
- Karamusaoğlu, H.A. (2009). *Küresel grafitli dökme demirin (GGG60) işlenmesinde kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Kul, S. (2014). İstatistik Sonuçların Yorumu: P Değeri ve Güven Aralığı Nedir ? Türk Toraks Derneği 11-13.
- Kavak, Y. (2019). *İşlenmesi zor malzemenin tornalanmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin istatistiksel yöntemle incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Düzce Üniversitesi.
- Nas, E. (2008). *Frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Nas, E., ve Özbek, N. A. (2020). Optimization the Machining Parameters in Turning of Hardened Hot Work Tool Steel Using Cryogenically Treated Tools. *World Scientific*, 27(5), 1950177-1-1950177-14. <https://doi.org/10.1142/S0218625X19501774>
- Neşeli, S. (2006). *Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Okcan, C. (2021, Aralık). Yüzey işleme işaretleri. <https://www.researchgate.net/publication/356835244> adresinden 11 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır.
- Özsas, B. (2002). *Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Özsoy, N. (2019). Experimental Investigation of Surface Roughness of Cutting Parameters in T6 Aluminum Alloy Milling Process. *International Journal of Computational and Experimental Science Engineering*, 5(3), 105-111. <https://doi.org/10.22399/ijcesen.590692>
- Öztop, M. (2007). *Taguchi deney tasarımı yöntemi ile alüminyum ekstrüzyon prosesinin iyileştirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Sabırlı, A. (2020). *Elektrik direnç kaynağında optimum kaynak parametrelerinin Taguchi yöntemiyle belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Kocaeli Üniversitesi.
- Sandvik Coromant : Modern Metal Cutting -A Practical Handbook. (2008). English Edition.
- Sivaprakasam, T. Hasan, S. 2007. Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20(1), 503-506.
- Şah, A. (2018). *Frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisinin Taguchi metodu ile optimizasyonu* [Yüksek lisans tezi]. Mersin Üniversitesi.

- Tezmaksan Akademi. CNC Makine Bilgisi Eğitimi. <http://tezmaksanakademi.com/egitim-dokumanlari> adresinden 21 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- Thakre, A. A. 2013. Optimization of Milling Parameters for Minimizing Surface Roughness Using Taguchi's Approach. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6): 226-230.
- Walter Online Katalog. Yüzey frezeleme. <https://www.walter-tools.com/tr-tr/search/pages/default.aspx?k=F4048.B27.063.Z06.10> adresinden 8 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Walter Online Katalog. Yüzey frezeleme. <https://www.walter-tools.com/tr-tr/search/pages/default.aspx?k=F5141.B22.50.Z06.10> adresinden 12 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Walter Online Katalog. SNMX. <https://www.walter-tools.com/tr-tr/search/pages/default.aspx/product/snm120520-d27%20wkk25s> adresinden 12 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Walter Online Katalog. LNHU. <https://www.walter-tools.com/tr-tr/search/pages/default.aspx/product/lnhu130608r-155t%20wkk25s> adresinden 19 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- Yanar, N. (2008). *Hidrolik silindir imalatında yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Yeşilay, C. (2017, 30 Ekim). Yüzey pürüzlülük ölçümü. <https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/> adresinden 16 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- Yılmaz, E. (2010). *Etial 180 alüminyum alaşımının işlenmesinde kesici takım geometrisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri* [Yüksek lisans tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Şafak BARAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018-2019 yılları arasında Çağdaş Kalıp Makine firmasında Üretim Mühendisi olarak çalıştı.
- 2019-2021 yılında Disa Otomotiv firmasında Proje Mühendisi olarak çalıştı.
- 2021 yılından beri Trakya Döküm firmasında Talaşlı İmalat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Baran, M.Ş., Mete, O. H. 2023. Investigation of Effect of Machining Process Parameters on Surface Quality, *Sakarya University Journal of Science*.