



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Co28Cr6Mo DÖVÜLMÜŞ ÇELİKLERİN İŞLENMESİNDE KESİCİ UÇ YARIÇAPININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE ETKİSİ

Mehmet Alper İNCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

KASIM-2015
KONYA

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Alper İNCE

Tarih: 06/11/2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

‘’Co28Cr6Mo DÖVÜLMÜŞ ÇELİKLERİN İŞLENMESİNDE KESİCİ UÇ YARIÇAPININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNE ETKİSİ’’

Mehmet Alper İNCE

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Assoc.Prof.Dr. İlhan ASİLTÜRK

2015, 110 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Assoc.Prof.Dr. İlhan ASİLTÜRK
Assist.Prof.Dr. Murat DİLMEÇ

Co28Cr6Mo ASTM F1537, sıcak tavlanmış malzemeler olup, iyi aşınma direnci, korozyon direnci ve ısı direncinden dolayı biyomedikal alanda (medikal implant) ve jet motorlarına ait mühendislik malzemelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Talaşlı imalatta tasarım parametrelerinin uygun olmayışı ve işlenebilirliğinin zayıf olması nedeniyle Co28Cr6Mo alaşımları işlenmesi zor malzemeler olarak gruplandırılır. Ayrıca sert malzeme olmasından dolayı, yorulma dayanımları düşüktür.

Bu çalışma, Co28Cr6Mo medikal alaşımının CNC tornalamada (devir sayısı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve uç yarıçapı) kesme parametrelerine bağlı olarak işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra,Rz) deneysel ve teorik sonuçlarını göstermektedir. CNC tornalamada giriş parametreleri olarak uç yarıçapı (r=0,4-0,8-1,2 mm), devir sayısı (n=318-477-636 dev/dk), ilerleme (f=0,1-0,15-0,25mm/dev) ve talaş derinliği (a=0,5-0,7-0,9mm) kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SJ-201 yüzey pürüzlülük cihazıyla değerlendirilmiştir. Kesme parametrelerinin önem durumlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan parametrelerin optimizasyonu, Taguchi orthogonal deney tasarımına bağlı cevap yüzey metodolojisi (RSM) ile belirlenmiştir. Araştırmanın sonunda minimum yüzey pürüzlülüğü (Ra = 0,81µm ve Rz = 5,54 µm) için, devir sayısı 318 dev/dk, ilerleme 0,1 mm/dev, talaş derinliği 0,7 mm ve uç yarıçapı 0,8 mm optimum değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma yüzey pürüzlülük bazında Co28Cr6Mo gibi işlenmesi zor malzemelerde, en iyi sonuçlara ulaşmada imalat sektörüne katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey Cevap Metodolojisi, Ortogonal dizayn, Co28Cr6Mo, Yüzey pürüzlülüğü, Varyans analizi (ANOVA)

ABSTRACT

MS THESIS

‘’THE EFFECT ON SURFACE ROUGHNESS OF CUTTING TOOL RADIUS IN MACHINING OF Co28Cr6Mo WROUGHT STEELS’’

Mehmet Alper İNCE

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc.Prof.Dr. İlhan ASİLTÜRK

2015, 110 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR
Assoc.Prof.Dr. İlhan ASİLTÜRK
Assist.Prof.Dr. Murat DİLMEÇ

Co28Cr6Mo ASTM F1537 is hot tempered materials, used extensively in the biomedical field (medical implants) and in the manufacture of engineering materials belonging to jet engines due to good wear, corrosion and heat resistance. Due to poor machinability and non-availability of design parameters at machining process, Co28Cr6Mo alloys are grouped as difficult-to-machine materials. Furthermore, due to the hard material, fatigue strengths are low.

This study shows experimental and theoretical results of values the surface roughness (Ra,Rz) resulting from the processing, depending cutting parameters (rpm, feed rate, depth of cut, tip radius) in CNC turning of Co28Cr6Mo medical alloy. As input parameters in the CNC turning, tip radius (r=0,4-0,8-1,2 mm), rpm (n=318-477-636 dev/dk), feed (f=0,1-0,15-0,25mm/dev) and depth of cut (a=0,5-0,7-0,9 mm) was used. Surface roughness was evaluated with the Mitutoyo SJ-201 surface roughness device. In order to determine critical states of the cutting parameters variance analysis (ANOVA) was applied Optimisation of the parameters affecting the surface roughness was achieved with the Response Surface Methodology (RSM) that is based on the Taguchi orthogonal test design. At the end of research, to achieve the minimum surface roughness (Ra = 0,81µm ve Rz = 5,54 µm), were obtained in values 318 rev/min rpm, 0,1 mm/dev feed rate, 0,7 mm depth of cut and 0,8 mm tip radius optimum values.This study will contribute to manufacturing sector for achieving the best results in hard processing materials such as Co28Cr6Mo based on surface roughness.

Keywords: Response Surface Methodology, Orthogonal design, Co28Cr6Mo, Surface roughness, Variance analysis (ANOVA).

TEŞEKKÜR

Teknolojik gelişmelerin ışığında hızla gelişen ve büyüyen talaş kaldırma teknolojisine fayda sağlaması amacıyla yaptığım bu çalışmanın planması ile teorik araştırma ve deneysel çalışmalar sırasında sağladığı araştırma olanakları, rehberlik ve kesintisiz yardımlarıyla çalışma fırsatı veren danışman hocam Doç.Dr.İlhan ASİLTÜRK'e ve Yrd.Doç.Dr. Süleyman NEŞELİ'ye, deneysel çalışmanın yapılmasında yoğun iş tempolarına rağmen bize vakit ayırıp deneylerin yapılmasına katkı sağlayan Sistem Ortopedi A.Ş. yönetimi ve personeline, ve maddi ve manevi destekleriyle hayatım boyunca bana hep yardımcı olan aileme en içten duygularıma teşekkür ederim.

Mehmet Alper İNCE

KONYA-Kasım

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TEŞEKKÜR ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xiii**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **xiii**

SİMGELER ..... **xiiii**

KISALTMALAR ..... **xivi**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. BİYOSTABİL METALLER VE BİYOMEDİKAL ALAŞIMLAR **15**

3.1. Metalik Biyomalzemeler 16
3.1.1. Paslanmaz çelikler 17
3.1.2. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması 18
3.1.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler 18
3.1.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler 18
3.1.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler 18
3.1.2.4. Dubleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler 18
3.1.2.5. Çökelme sertleşmesi gösteren Paslanmaz Çelikler 18
3.1.3. Paslanmaz çeliklerin farklı tiplerinin bileşimleri 19
3.1.3.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler 19
3.1.3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler 19
3.1.3.3. Dubleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler 20
3.1.3.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler 20
3.2. Kobalt ve Diğer Alaşımlı Malzemeler 21
3.2.1. Co-Cr-Mo Alaşımları 22
3.3. Titanyum Alaşımları 25
3.4. Dental Amalgam Alaşımları 26
3.5. Altın Alaşımları 26
3.6. Biyoseramikler 26
3.6.1. Alümina 27
3.6.2. Zirkonya 27
3.6.3. Kalsiyum-fosfat (Ca-P) seramikler 27
3.6.4. Cam ve cam-seramikler 28
3.7. Polimer Protez Malzemeler 28
3.8. Kompozit Malzemeler 29

4. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ 30

4.1. Talaş oluşumu 32
4.2. Talaş çeşitleri ve oluşma nedenleri 33
4.2.1. Sürekli (Akma) Talaş 33
4.2.2. Kesintili Talaş 34
4.2.3. Yığma kenarlı (BUE) sürekli akma talaş 34
4.2.4. Yarı kesintili talaş 35
4.3. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler 35
4.3.1. Takım ömrü 37
4.3.2. Kesme Hızı 37
4.3.3. İlerleme 37
4.3.4. Talaş derinliği 37
4.3.5. Kesme kuvveti 40
4.3.6. Kesme gücü 41
4.3.7. Takım malzemesi ve iş parçası malzemesi 41
4.3.8. Takım geometrisi 43
4.3.9. Takım uç yarıçapının etkisi (r) 44
4.3.10. Soğutma sıvısının etkisi 45
4.4. Talaşlı imalat işleminde ısı ve sıcaklık oluşumu 45
4.5. Talaşlı imalat işleminde yüzey pürüzlülüğü 45
4.5.1. Yüzey yapısı 47
4.5.2. Pürüzlülük 48
4.5.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler 50
4.5.3.1. Aritmetik ortalama sapma (Ortalama pürüzlülük değeri, R_a) 50
4.5.3.2. Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (Ortalama pürüz yüksekliği, R_z) 50
4.5.3.3. Pürüzlülük yüksekliği (Rt, Rmax) 50
4.5.3.4. Ortalamaların kareleri toplamının karekökü (Rq) 50
4.5.4. Yüzey pürüzlülük ölçen cihazlar ve teknikleri 54
4.5.4.1. Elektriksel sivri uçlu cihazlar 54
4.5.4.1.1. Göbek tipli cihaz 54
4.5.4.1.2. Bobin tipli cihaz 54
4.5.4.1.3. Piezoelektrik kristalli cihaz 54
4.5.4.2. Dokunarak yüzey değerlendirme ve mekanik olarak çalışan cihazlar 54
4.5.4.2.1. Kadranlı derinlik cihazı 54
4.5.4.3. Işık interferans mikroskopları ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi 54

5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERI VE KAPLAMALAR 66

6. MATERYAL VE METOT 72

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA 80

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER 100

9. KAYNAKLAR 102

10. EKLER 108

ÖZGEÇMİŞ 110

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. AISI 316 Östenitik Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri 21
Şekil 3.2. AISI 316 LVM serisi paslanmaz çelikten üretilmiş kalça protezi 21
Şekil 3.3. Co-28Cr-6Mo alaşımlı çelikten üretilmiş kalça implantı 24
Şekil 3.4. Titanyum alaşımlarından yapılmış kalça eklem gövdesi 25
Şekil 3.5. (Ca-P) seramikten yapılmış bi orta kulak implantı 27
Şekil 4.1. Metal kesme işleminin temel mekaniği 31
Şekil 4.2. Talaş oluşumu 32
Şekil 4.3. Sürekli Talaş 33
Şekil 4.4. Kesintili Talaş 34
Şekil 4.5. Yığma kenarlı sürekli akma talaş 34
Şekil 4.6. Yarı kesintili talaş 35
Şekil 4.7. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler 36
Şekil 4.8. Takım ömrü-Kesme hızı arasındaki ilişki 37
Şekil 4.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri 40
Şekil 4.10. Takım açılarının etkisi 43
Şekil 4.11. Kesici takım terminolojisi ve takım geometrisi 44
Şekil 4.12. Kesme bölgesinde ısı oluşumu 46
Şekil 4.13. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri 48
Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülük profili 50
Şekil 4.15. H_M değerinin belirlenmesi 51
Şekil 4.16. Alanlarla Ra değerinin gösterimi 52
Şekil 4.17. On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması (R_Z(ISO)) 53
Şekil 4.18. Ordinatlarla Rq değerinin gösterimi 54
Şekil 4.19. Göbek tipli cihaz 55
Şekil 4.20. Bobin tipli cihaz 55
Şekil 4.21. Piezoelektrik kristalli cihaz 56
Şekil 4.22. Cihazın çalışma prensibi 57
Şekil 4.23. Kadranlı derinlik cihazı 58
Şekil 4.24. Titreşim ivme sensörü (Akselerometre) iç yapısı 63
Şekil 4.25. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi 64
Şekil 5.1. Takım çelikleri 67
Şekil 5.2. Seramik malzemeler 69

Şekil 5.3. Kübik boron nitrür malzemeler 70
Şekil 6.1. Deneyde kullanılan malzeme 72
Şekil 6.2. TNMG MT serisi uçlar 73
Şekil 6.3. TNMG MT serisi uç boyutları 73
Şekil 6.4. Deneyde kullanılan takım tutucu ve boyutları 74
Şekil 6.5. Deneyde kullanılan takım tutucu ve ivme sensörünün bağlanması 74
Şekil 6.6. Deneyde kullanılan Kistler 5134B serisi Charge Amplifier (Yükselteç) 75
Şekil 6.7. Deneyde kullanılan Kistler 8692C50 serisi ivme ölçer 75
Şekil 6.8. Deneyde kullanılan Mitutoyo SJ-201 serisi yüzey pürüzlülük cihazı 77
Şekil 6.9. Deney düzeneği 78
Şekil 6.10. Deneyin yapılışı 79
Şekil 6.11. Titreşimin ölçülmesi 79
Şekil 6.12. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi 80
Şekil 7.1. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 81
Şekil 7.2. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 82
Şekil 7.3. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 83
Şekil 7.4. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 84
Şekil 7.5. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 85
Şekil 7.6. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 86
Şekil 7.7. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 87
Şekil 7.8. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 88
Şekil 7.9. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği 89
Şekil 7.10. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için titreşim grafiği 90

Şekil 7.11. Tahmin edilen ve gerçek pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması 94
Şekil 7.12. Deney parametrelerinin Ra tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi 98
Şekil 7.13. Deney parametrelerinin Rz tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi 99

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. CoCrMo ASTM F 1537 ve ASTM F 75 serisi çeliklerin kimyasal bileşimi..... 14
Tablo 3.1. Biyomedikal malzemelerin uygulama alanları 16
Tablo 3.2. Yaygın metalik biyomalzemelerin fiziksel özellikleri..... 17
Tablo 3.3. CoCr alaşımlarının mekanik özellikleri..... 22
Tablo 3.4. CoCr alaşımlarının karşılaştırılması 24
Tablo 4.1. ISO tarafından Ra değerinin simgelenmesi 51
Tablo 6.1. Deneyde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi 72
Tablo 6.2. Deneyde kullanılan Kistler 5134B serisi Charge Amplifier (Yükselteç) Özellikleri…… 76
Tablo 6.3. Deneyde kullanılan Kistler 8692C50 serisi ivme ölçer özellikleri……..76
Tablo 6.4. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri..... 77
Tablo 6.5. Kesme parametrelerinin üç seviye değerleri..... 78
Tablo 7.1. Deneysel parametreler ve ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri 92
Tablo 7.2. Regresyon Modelleri ve R^2 değerleri..... 93
Tablo 7.3. Ra için ANOVA sonuçları..... 95
Tablo 7.4. Rz için ANOVA sonuçları..... 95
Tablo 7.5. Deney parametreleri için kuvvet bileşenlerinin optimizasyonu 100

SİMGELER

T : Kesici takım ömrü (dk.)

n : Devir sayısı (rpm)

f : İlerleme (mm/dev)

D_1 : İlk çap (mm)

D_2 : Son çap (mm)

β : Kama açısı

ϕ : Kayma açısı

KA_{hep} : Kesme açılarının hepsi

V : Kesme hızı (m/dk.)

R_a : Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)

R_q : Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama sapmalarının karekökü (μm)

$R_{\max}$: Yüzey bozukluğunun en büyük yüksekliği (μm)

R_z : Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (μm)

l : Örnekleme uzunluğu (mm)

M : Profil ortalama çizgisi

R_t : Pürüzlülük yüksekliği (μm)

α : Serbest açı

r : Takım burun yarıçapı (mm)

γ : Talaş açısı

a : Talaş derinliği (mm)

θ : Kesme açısı

$TM_{ç}$: Takım/ iş parçası malzeme çifti

a_x, a_y, a_z : X, Y, Z yönündeki titreşim (mV/g)

Ss : Soğutma sıvısı

R : talaş kaldırma oranı

F_R : kesme direnci

P_C : kesme gücü

P_M : Tezgah motorunun gücü

KISALTMALAR

CNC : Computer Numeric Control
HRC : Rockwell C sertlik değeri
LVM : Low Vapour Melting
F_C : Kesme kuvveti
F_F : İlerleme kuvveti
F_r : Radyal kuvvet
F : Bileşke kuvvet
F_T : Teğetsel kuvvet
PCD : Çok kristalli elmaslar
CBN : Kübik Boron Nitrür
PDMS : Polidimetilsiloksan
PÜ : Poliüretanlar
PTFE : Politetrafloroetilen
PVC : Polivinilklorür
PVD : Physical Vapour Deposition
PE : Polietilen
EGDMA : Etilenglikoldimetakrilat
PMMA : Polimetil metakrilat
HA : Hidroksiapatit
ANOVA : Varyans Analizi
RSM : Yüzey cevap yöntemi (Response Surface Methodology)
R^2 : Regresyon denklemlerinin tahmini tutarlılık değerleri

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde çelik malzemelerin talaşlı imalat yöntemleri (tornalama, frezeleme, delme, vb.) ile şekillendirilmesi halen önemini korumaktadır. Çeliklerin gıdadan sağlığa otomotivden uzay sanayine kadar, birçok alanda kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Dolayısı ile çelik malzemelerin işlenebilirliğine yönelik deneysel ve teorik birçok çalışma yapılmaktadır (Kayır 2012).

Talaşlı imalat işlemlerinde en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, arzu edilen kalitede gerçekleşmesidir. Makine sanayinde kullanılan parçaların büyük bir çoğunluğu tornalama işlemleri ile imal edilmiş parçalardır. Tornalama sonucu elde edilmiş parçaların kalitesi, toplam ürün kalitesini etkileyen bir faktördür, dolayısıyla bu tür parçalarda kalite seviyesini yükseltmek zorunlu hale gelmiştir. İyi işlenebilir bir malzemenin kısa sürede, yüksek talaş hacmiyle işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin, işleme esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması gerekir. Talaşlı imalat alanında en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanır. Tamamıyla takım-iş parçası malzemesi çiftine, kesme koşullarına, takım tezgahına, kesici takıma bağımlı olan bu işlem, son derece zordur. Son yıllarda, kesici takım teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda, kaplamalı kesici takımlar talaşlı imalat işlemlerine gerek takım ömrü, gerek işleme zamanı, gerekse işlem kalitesi açısından önemli katkılarda bulunmuşlardır. Bu tip kaplamalarla ulaşılan yüksek sertlik, yüksek aşınma ve korozyon direnci nedeniyle kaplamalı takımlar çok geniş uygulama alanları bulmuşlardır (Işık 2001).

Canlı dokuya doğrudan temas halinde bulunan ve vücudun herhangi bir organı ile yer değiştirip onun fonksiyonunu yerine getirmeye yarayan yapay malzemelere biyomalzemeler denir (Çelik 2012). Bilimsel anlamda yeni bir kavram olmasına karşın, uygulamada biyomalzemelerin kullanımı, tarihin çok eski zamanlarına kadar uzanmaktadır. Mısır mumyalarında bulunan yapay göz, burun ve dişler bunun en güzel kanıtlarıdır. Altın'ın diş hekimliğinde kullanımı, 2000 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Bronz ve bakır kemik protezlerinin kullanımı, milattan önceye kadar gitmektedir. Bakır iyonunun vücudu zehirleyici etkisine karşın 19. yüzyıl ortalarına kadar daha uygun malzeme bulunamadığından bu protezlerin kullanımı devam etmiştir. 19. yüzyıl ortasından itibaren yabancı malzemelerin vücut içerisinde kullanımına yönelik ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir

Biyomalzemelerin genel kullanım alanları olarak, aşağıdaki hususlar sayılabilir:

- Hastalıklı veya hasar görmüş kısımların yerine kullanmak (diyaliz, protezler)
- İyileşmeye yardımcı olmak (ameliyat ipliği, vida ve tel olarak)
- Fonksiyonelliği artırmak için (lens, kalp pili, işitme cihazı)
- Kozmetik problemleri düzeltmek için (diş teli, deri implantasyonu, silikon)
- Tedaviye yardımcı olmak için (kateter, drenaj)
- Teşhise yardımcı olmak için (biyo algılayıcılar, endoskopi, enjektör)
- Fonksiyon bozukluklarını düzeltmek için (omurga fiksatörleri) (Güven 2010).

Biyo uyumluluklarının düşük olması, korozyona uğramaları, dokulara göre çok sert olmaları, yüksek yoğunlukları ve alerjik doku reaksiyonlarına neden olabilecek metal iyonu salımı, kötü yüzey kalitesi, fazla takım aşınması gibi dezavantajlarına rağmen, kristal yapıları ve sahip oldukları güçlü metalik bağlar nedeniyle üstün mekanik özellikler taşıyan; Titanyum ve titanyum alaşımları, paslanmaz çelikler, altın ve kobalt gibi metal ve metal alaşımlarının biyomalzeme alanındaki payı büyüktür (Çelik 2012).

Genel olarak kobalt esaslı alaşımlar yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık direnci ve yüksek korozyon direncine sahip malzemelerdir. Kobalt esaslı alaşımların ilk medikal kullanımı; döküm yöntemiyle diş implantlarının elde edilmesi şeklinde olmuştur. Vücut içi ve vücut dışı yapılan birçok test, alaşımın biyouyumlu olduğunu ve cerrahi implantlar olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Biyouyumluluğu olan Co esaslı metalik alaşımların temelde iki tipi vardır. Bunlardan birincisi olan Co-Cr-Mo alaşımı dökümle şekillendirilir, ikincisi ise Co-Cr-Ni-Mo alaşımı olup sıcak haddelemeyle işlenir. Kobalt bazlı alaşımlar ağırlıkça % 65 kobalt içerirler. Molibden ince taneli bir yapı sağlayarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Krom da, katı çözelti yaparak dayanımı arttırır. Elastisite modülü paslanmaz çelikten daha büyüktür Dökülebilir Co-Cr-Mo alaşımı dişçilik alanında uzun süreden beri kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu alaşımın suni eklem yapımında kullanıldığı da görülmektedir. Co-Cr-Ni-Mo alaşımı ise yükün fazla olduğu bacak, kol, kalça ve diz eklemlerinde protez sapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Sıcak dövülerek şekillendirilen Co-Cr-Ni-Mo alaşımının üstün aşınma, yorulma ve çekme dayanımı vardır. Yorulma dayanımı da Ti

550 alaşımından daha üstündür. Dökme ve dövme alaşımlar yüksek korozyon direncine sahiptir (Çelik 2012).

İşlenebilirliklerinin zor olması imalatçılar için büyük sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle talaş kaldırma esnasında oluşan ısının atılması ve kesici takımın kolayca yüzeyde kayabilmesi için ya soğutma sıvısı kullanmak ya da soğutma sıvısı kullanmadan kesme parametrelerinin ve kesici takımın uygun seçimi gereklidir. Kesici takım olarak genellikle yüksek hız çelikleri, karbon çelikleri ve takım çelikleri, koronitler, sinterlenmiş karbürler, sermetler kullanılır. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, ürün maliyeti ve kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ekonomik ve kaliteli üretim için, kesici takımlar, kesme işlemi esnasında maruz kaldıkları yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanabilecek kabiliyette olmalıdır.

Düşük işlenebilirliğe ve yaygın kullanım alanına sahip olan ve genellikle medikal alanda protez yapımı için kullanılan Co28Cr6Mo ASTM F 1537 dövülmüş çeliğin işlenebilmesi için optimum kesme parametreleri ve kesme şartlarının tespit edilmesi önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çelikler hakkında çok fazla çalışma yapılmış olmasına rağmen Co28Cr6Mo ASTM F 1537’ nin kaplamalı takımlarla optimum kesme şartları ve parametrelerinin belirlenmesine ve özellikle işlemeden sonra oluşan iş parçasının yüzey kalitesi hakkında literatürde yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için bu tez çalışmasında, Co28Cr6Mo ASTM F 1537 dövülmüş çeliğin işlenmesinde kuru kesme şartlarında optimum kesme parametrelerinin elde edilmesine bağlı olarak daha güvenli ürünler elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için bir takım tornalama deneyleri yapılarak Co28Cr6Mo ASTM F 1537 sıcak alaşımlı çeliğin işlenmesi esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü deneysel ve teorik değerleri karşılaştırılarak yorumlanacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde biyomedikal alaşımlı çeliklerin işlenebilirliği, kullanılan parametreler ve bulunan sonuçlar yönüyle literatür çalışmaları taranıp, sonuçları incelenmiştir.

Çiftçi, 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemiştir. 120, 150, 180 ve 210 m/dak kesme hızlarında, 0.16 mm/dev sabit ilerleme hızı ve 1.6 mm sabit talaş derinliğinde gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığını görmüştür. Ancak, yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği sonucuna ulaşmıştır.

Fredj ve arkadaşları., (2006), soğutma ortamının gelişmesine katkıda bulunmak için AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzey tamlığı üzerine yararlı etkileri ve yorulma dayanımı sonuçlarını araştırmıştır.

Bonnet, (2008), TiN kaplı karbür takımlarla AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kuru kesme şartlarında ara yüzdeki sürtünme katsayısını tanımlayabilmek için bir sürtünme modeli geliştirmiştir. Basınç, sıcaklık ve kayma hızlarının ilgili değerlerine ulaşabilmek için yeni bir tribometre tasarlamışlardır.

Kayır, (2012), AISI 316 Ti Paslanmaz Çeliğin İşlenebilirlik Karakteristiklerinin İncelenmesi adlı araştırmalarında takım uç yarıçapının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri ve işlenen yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, ilerleme miktarı arttıkça, kesme kuvvetlerinin arttığı, takım uç yarıçapının büyümesi ile de yüzey pürüzlülüğünün düştüğü görülmüştür.

Tekaslan, (2006), oluşan kesme kuvvetleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada, farklı kesme hızları, ilerleme değerleri ve kesme derinlikleri dikkate alınmıştır. Kesme kuvvetleri üç boyutlu Kistler dinanometre ile ölçülmüştür. Teorik çalışmada ise; Kienzle formülasyonuna göre kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda teorik olarak hesaplanan kesme kuvvetlerinin çeşitli etkenler nedeni ile tam sonucu vermediği, deneysel sonuçlara göre; ortalama % 25'lik fark olduğu tespit edilmiştir.

Kalhori'nin, 2001 yılında yapmış olduğu çalışmasında, Lagrangian formülasyonu'nun kullanıldığı bir sonlu eleman programı olan SİMPLE kodlarıyla yaptığı simülasyon sonuçlarının karşılaştırmalarını incelemiştir. Ayrıca, Kalhori iş parçası yüzeyindeki kalıntı gerilmelerin bir önceki kesmeden kaynaklandığını bulmak ve bunun talaş oluşum sürecine etkilerini incelemek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirmiştir.

Korkut, (2004), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde optimum kesme parametrelerini belirlemiştir. Deneyleri üç farklı kesme hızında (120-150-180 m/dak), 0,24 mm/dev ilerleme hızında ve kesme derinliği sabit (2,5 mm) tutularak yapmıştır. En fazla aşınmanın 180 m/dak da olduğunu gözlemlemiştir.

Saoubia, (1999), standart ve tekrar sülfürlenmiş AISI 316 çeliklerinin ortogonal işlenmesinde oluşan kalıntı gerilmeler, sıcaklık, kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi ve takım kaplaması gibi kesme parametrelerinin etkisini araştırmışlardır.

Özçatalbaş, (2003), yumuşak çeliklerin işlenebilirliğinde ısıl davranışlarının etkilerini incelemişlerdir. İşleme öncesi sıcak haddelenmiş SAE 1050 çeliğinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. İşlenebilirlik kuvvetleri, yüzey ve talaş ara yüzey kesme sıcaklığı, takım ömrü ölçülerek karakterize edilmiştir.

Chen, 1997 yılında yapmış olduğu çalışmada, ''uzak metod'' yöntemini kullanarak kesici takımların taranmış yüzeylerin sıcaklık dağılımlarını araştırmıştır. Takım-talaş ara yüzü sıcaklık artışını anlamak için en iyi kesme performansına ulaşmada önemli bir çalışma olarak kabul edilmiştir. Bu sıcaklık dağılımlarına da üç boyutlu sınır element yöntemi ile kesme cihazıyla bir ısı transfer modeli çözerek ulaşmıştır.

Carvalhoa, 2006 yılında yapmış oldukları çalışmada, takım ve takım ucuyla ''ters ısı tekniği'' yöntemini kullanarak talaş-takım ara yüzündeki sıcaklığı belirlemiştir. Bu model takım ve takım ucu arasındaki ısı yayınım denkleminin nümerik çözümüne dayanır. Bu çalışma, karbür uçlar kullanarak çeşitli kesme test modelini kontrol etmek ve sıcaklık alanında kesme parametrelerinin etkisini teyit etmek için yapılmıştır.

Özek, (2006), AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalanması konusundaki araştırmasında, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi parametreleri

değiştirerek, parametrelerin yüzey pürüzlülüğü, takım yanak aşınması ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığına olan etkilerini incelemiştir.

Bogdan, (2013), kesme sıcaklığının ölçülmesi ve malzeme işlenebilirliği konusunu araştırmıştır. Bu araştırmada, kesme sıcaklığını yapay termokupllarla ölçülmüş ve kesme yönüne göre metalin işlenebilirliği analiz edilmiştir. Bu metotla, kesme sıcaklığı ve işlenebilirlik hakkında güvenilir sonuçlara ulaşılmıştır.

Hosseinia, 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI 52100 sertleştirilmiş martenzitik ve beynitik çelikte, kesme sıcaklıklarına bağlı olarak yüzeydeki beyaz tabaka oluşumunu araştırmışlardır. Kesme sıcaklıkları, kesme kenarında sıcaklık ölçümleri için izin veren bir fiber optik ile donatılmış bir yüksek hızda iki renkli pirometre kullanılarak ölçülmüştür.

Rieth, (2004), çalışmalarında, östenitik 17Cr12Ni2Mo çelikler (AISI 316 L(N)) gibi metalik malzemeler için uygun deformasyon mekanizması üzerinde genel bir inceleme yapmıştır.

Aydın ve ark. (2010), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi adlı çalışmalarında, HC-35 kaplamalı sert metal (HM) kesici takım ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin üniversal torna tezgahında silindirik tornalama metoduyla işlenebilirlik deneylerini yapmışlardır. Soğutma sıvısı kullanılmadan kuru olarak farklı kesme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvveti, talaş kaldırılan bölgenin ve talaşın ayrılma anındaki sıcaklığı ölçülmüştür. Ayrıca talaşın ayrılma anındaki formu ve takımın kesme kenarındaki aşınma miktarı görüntülenmiştir. Talaş formu belirlenmiştir.

Rachid ve Chandrasekaran, 2011 yılında yapmış oldukları çalışmada, AISI 3115 karbon çeliği ve AISI 316 L paslanmaz çeliğinin işlenmesinde, ara yüz uç geometrisi ile dik kesme koşulları altında IR-CCD tekniğini kullanarak, kesici takım-ara yüz sıcaklık dağılımını belirlemişlerdir.

Yash ve Kamble, 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada, tanımlanan kesme koşullarında ve kesici takım malzeme kaplama alt sınır bölgesiyle takım-talaş ara yüz bölgesinde meydana gelen sıcaklıkları belirlemiş ve aynı zamanda kesme kuvvetlerini belirlemek için sonlu elemanlar metodunu kullanarak simülasyon modeli oluşturmuşlardır.

Kumar, 2011 yılında yapmış olduğu çalışmasında, P 30 sınıfı sementit karbür uçlarını kullanarak, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenilebilirliğini araştırmıştır. Çeşitli kesme parametreleriyle optik mikroskopla takım aşınmasını ölçmüştür. Talaş kalınlığı, talaşın mikro ve makro morfolojisi, talaşın rengi ve talaşın indirgeme katsayısının çeliğin işlenebilirliğine etkisi olduğunu belirtmiştir. Deneylerde farklı tokluk ve sertlik değerlerine sahip iki adet TiC/TaC/NbC kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanmıştır. Deneyleri üç farklı kesme hızında (100-150-200)m/dak, 0,2mm/dev ilerleme hızında ve kesme derinliği sabit (1 mm) tutarak yapmıştır.

Sullıvan ve Cotterell, 2001 yılında yapmış olduğu çalışmada, tornalamada tek bir noktadan sıcaklık ölçümü konusunu araştırmışlardır. Sıcaklığın ölçümünde K tipi (Kromel-Alümel) termokuplları kullanmışlardır. Kesme parametrelerine bağlı olarak minimum -200°C, maksimum +1100°C sıcaklık elde etmişlerdir.

Gheorghe ve ark., 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada, alaşımsız çeliklerin tornalanması ile birlikte kesici takımda oluşan sıcaklığı belirlemişlerdir. Sıcaklık değerlerinin kesme parametrelerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerleri belirlemek için yapay termokupllar, kızıl ötesi kamera ve optik pirometre kullanmışlardır. Sonuçta matematiksel regresyon ve simetrik ölçüm metoduyla kesme parametrelerine bağlı olarak sıcaklığı analiz etmişlerdir.

Çetinçalı, 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada, kuru kesme şartlarında AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde, kesici takım kaplamasının ve kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmak için tornalama deneyleri yapmıştır. Deneylerde farklı tokluk ve sertlik değerlerini sahip iki adet TiCN/Al2O3/TiN kaplamalı, kaplamasız ve TiC/TiCN/TiN kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanmıştır. Deneyleri beş farklı kesme hızında (90-120-160-200-240 m/dak), dört farklı ilerleme hızında (0,1-0,25-0,45-0,60 mm/dev) ve kesme derinliği sabit (1,6 mm) tutularak yapmıştır.

Pasinli, 2004 yılında biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler ve genel özellikleri, çeşitleri hakkında genel bir bilgi vermiştir.

Yeyen, (2006), AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmıştır. Deneyler dört farklı kesme hızlarında (120, 150, 180 ve 210 m/min) ve üç

farklı ilerle miktarında (0.20, 0.24 ve 0.30 mm/rev) yapılmıştır, kesme derinliği ise 2.5 mm seçilmiştir. Bu araştırma kapsamında AISI 303 östenitik paslanmaz çelikler ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği karşılaştırılmıştır.

Ceschini ve Minak, (2008), AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğe düşük sıcaklıkta karbürleme uygulamış ve bu karbürlemenin mikro yapı ve yorulma davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Düşük sıcaklıkta karbürleme işlemi, çeliğin korozyon direncini azaltmaksızın yüzey sertliğini ve aşınma direncini artırmaktadır. Yüzey sertliği, karbona aşırı doymuş östenit fazı olarak adlandırılan S-fazının oluşması sayesinde 1150 Vickers'e kadar ulaşılmıştır. Karbürleme işlemi uygulanmış malzemenin X Işını kırınımı değerlendirmesi karbür çökelmesi belirtisi olmaksızın genleşen östeniti doğrulamıştır.

Xavior ve Adithan, (2009), karbür takımlar yardımıyla AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalanması esnasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme sıvılarının etkisini incelemişlerdir. Tornalama işlemi sırasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmada hindistan cevizi yağının etkisini tanımlamak için bir çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda hindistan cevizi yağının performansı emülsiyon ve saf kesme yağı gibi iki farklı kesme sıvısı ile karşılaştırılmıştır. Genellikle hindistan cevizi yağının takım aşınmasını azaltmada ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede diğer iki kesme sıvısından daha iyi performans gösterdiğini sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Sarsılmaz, 2003 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, ortopedide kullanılan polimer esaslı kompozit malzemeleri incelemişlerdir. Ortopedide iki tip polimer esaslı kompozit olduğunu ve bunların 40'dan fazla değişik türevleri mevcut olduğunu göstermişlerdir. Çalışmada bu kompozitleri sınıflandırılarak vücut içinde kullanım bölgelerini sunmuşlardır.

Park ve Lakes, (1992), biyomalzemeler hakkında genel bilgi sunmuşlardır. Fakat daha çok Co alaşımlı malzemelerin vücut içinde nasıl kullanıldığını araştırmışlardır.

Gür ve Taşkın, 2004 yılında yapmış olduğu çalışmalarında, metalik biyomalzemelerin kullanım amaçları, kullanım yerleri ve biyouyum hakkında bilgi vermişlerdir.

Shu, (2012), Co-Cr-Mo biyomedikal alaşımların yüzey kalitesinin geliştirilmesi ve aşınma performansının artırılması için araştırma yapmışlardır. İş parçası olarak Co28Cr6Mo ASTM F 75 serisi malzeme kullanmışlardır. 100 m/dak ve 200m/dak kesme hızlarında ve 0.1 mm/dev sabit ilerleme hızında, 0,127 ve 0,254 kesme derinliklerinde kaplamasız karbür uç kullanarak kuru ve kriyojenik kesme şartlarında cilalama işlemine tabi tutmuşlardır. Sonunda yüzey pürüzlülüğü, aşınma, mukavemeti, mikro sertliği vb. konuları incelemişlerdir.

Akkuş, 2010 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, torna ve tornalama hakkında genel bir bilgi vermiştir. Ayrıca tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesine dayalı deney tasarımı yapmıştır.

Pathade ve Wakchaure, 2013 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çeliğin, kaplamalı karbür takımlarla işlenmesiyle meydana gelen takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrünü incelemişlerdir. Deneyleri, (112,180,280 m/dak) kesme hızında, (0.2,0.315,0.4) ilerleme hızlarında ve (1,1.5,2) kesme derinliklerinde yapmışlardır. Ayrıca 0.4,0.8 ve 1.2'lik burun radyüslü uç kullanmışlardır ve elde edilen sonuçları (ANOVA) istatistik programıyla analiz etmişlerdir.

Outeiro ve ark., 2002 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, AISI 316 L serisi paslanmaz çelikleri işlenmesiyle meydana gelen kalıcı gerilmeleri araştırmışlardır. Bunu için tornalama deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Farklı kesme parametrelerinde kaplamasız karbür uçlar kullanmışlar ve elde edilen sonuçları yorumlamışlardır.

Izman ve ark., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada, biyomedikal sınıfındaki Titanyum alaşımları için yüzey modifikasyon tekniklerini araştırmışlardır. Bunu da Oksidasyon, Karbürizasyon ve iyon implantasyon süreçleriyle ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Güven, 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada, ortopedik malzemelerin biyouyumluluklarına ve mekanik özelliklerine göre seçilmesi gerektiğini savunmuşlardır ve bu malzemelerin özellikleri hakkında genel bir bilgi vermişlerdir.

Işık ve Çakır, 2001 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmin edilebilmesi amacı ile ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olan bir model geliştirmişlerdir. Teorik olarak

bulunan yüzey pürüzlülüğü değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasında uygunluk olduğu görmüşlerdir. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerine, ilerleme ve talaş derinliğinin olumsuz, köşe radyüsünün artmasının ise olumlu etki yaptığı gözlemlemişlerdir.

Kavak ve Üstel, 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, endüstride çok kullanılan AISI 1040 çeliğinin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyleri, kesme derinliği sabit tutularak (2 mm), farklı kesme hızı (46. 91 ve 128 m/dk) ve ilerleme değerlerinde (0.16, 0.22 ve 0.28 mm/dev) ve kaplamasız sementit karbür kesici takımlar kullanılarak kuru tornalama ile yapmışlardır. İş parçasının yüzey kalitesinin, ilerleme miktarının artması veya kesme hızının azalması ile kötüleştiği gözlemlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, 2 mm kesme derinliği için 128 m/dk kesme hızı, 0.16 mm/dev ilerleme değerinin yüzey kalitesi açısından en uygun kesme şartları olduğunu görmüşlerdir.

Sahınoja, 2013 yılında yapmış olduğu çalışmasında, magnezyum metali ve alaşımlarının medikal ve elektrik alanında uygulama sahasını araştırmıştır. İş malzemesi olarak Mg-10Gd-1Nd-1Zn alaşımının uygulamalarından bahsetmiştir.

Dourandish ve ark., 2008 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, gözenekli kompozit yapıların imalatında biyouyumluluğu sağlamak için Co-Cr-Mo alaşımının sinterlenmesi konusunu araştırmışlardır. 19 ve 63µm'lik 2 parça malzeme, hidrojen ve argon atmosferi altında izotermal ve izotermal olmayan sinterleme işlemine tabi tutmuşlar ve 1280°C'de sinterleme sıcaklığının biyo uyumluluğa uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Muterlle, 2010 yılında yapmış olduğu çalışmasında, metal enjeksiyon kalıplamayla üretilen Co ve Ti alaşımlarının mikro yapısını ve mekanik özelliklerini araştırmış ve bu alaşımların uygulama alanlarından söz etmiştir.

Bordin ve ark., 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, döküm ve dövme CoCrMo alaşımlarının işlenebilirlik karakteristiklerini araştırmışlardır. Bu alaşımları TiAlN kaplamalı tungsten karbür uçlarla yarı yüzey dış tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Tornalama işleminde kesme sıvısı kullanılmıştır ve işleme boyuna olarak yapılmıştır. Bu 2 alaşımı takım aşınması, yüzey kalitesi ve malzeme mikro yapısına göre irdelemişler ve kıyaslamışlardır.

Bordin ve ark., 2014 yılında yapmış oldukları diğer çalışmada, CoCrMo alaşımlarını kuru tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Tornalama işlemi boyuna olarak gerçekleşmiştir. Bu işlemde ilerleme hızı ve kesme hızı gibi kesme parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisini ve aynı zamanda da alaşımın mikro sertliğini, kayma gerilmesi değerlerini ve mikro yapısını araştırmışlardır.

Yallese ve ark., 2010 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, AISI H11 sıcak çalışma takım çeliğinin (50 HRC) kuru tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin istatistiksel modellerini belirlemişlerdir. Bunun için 27 deney yapmışlar ve 3 farklı parametrenin (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) etkisini belirlemişlerdir. Matematiksel modelleri MINITAB (çoklu doğrusal regresyon ve RSM) programıyla oluşturmuşlar ve kesme kuvvetleri üzerine kesme parametrelerinin en etkilisini belirlemişlerdir.

Çalışkan ve ark., 2013 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, kesme hızı ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine ilaveten kesici takım kaplamasının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerinde L27 (33) Taguchi deney tasarımını kullanmışlar ve RSM yöntemini kullanarak süreci optimize etmişlerdir.

Abou-El-Hosseinb ve ark., 2007 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI P20 takım çeliğinin işlenmesi esnasında meydana gelen kuvvetlerin tahmini için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Dört giriş parametresinin kesme kuvveti üzerine olan etkilerini RSM kullanarak değerlendirmişler ve neticede kuvvet tahmini için birinci ve ikinci derece regresyon denklemleri oluşturmuşlardır. Yapılan analizde, kesme kuvveti üzerine en etkili parametrenin ilerleme ve eksenel talaş derinliği olduğunu vurgulamışlardır.

Gupta, 2010 yılında yapmış olduğu çalışmasında, tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve kesme zamanına bağlı olarak; yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve gücün hesaplanmasını amaçlamıştır. Toplam 27 adet deney sonrasında elde ettiği verileri RSM (Respond Surface Methodology), YSA ve SVR (Support Vector Regresion) yöntemi kullanarak modellemiştir. Hataları mutlak hata olarak bulmuş ve modellerin hatalarının kıyaslamasını yapmıştır. Sonuçta geliştirilen modellerden YSA ve SVR'nin sonuçlarının RSM sonuçlarından daha iyi olduğu kanısına varmıştır.

Aouici ve ark., 2011 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI H11 (X38CrMoV5-1), çeliğinin kesme şartları altında CBN takımlar kullanarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme zamanı) etkisini araştırmışlardır. İşleme deneylerini RSM metoduna dayanarak yapmışlardır. Kesme parametrelerinin etkisini belirlemek için ANOVA analizi yapmışlardır. Bunun sonucunda takım aşınması için en önemli faktörün kesme zamanı; yüzey pürüzlülüğü içinse ilerlemenin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yine aynı şekilde Aouici, ve ark., 2010 yapmış oldukları çalışmalarında, kesme kuvveti, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğü üzerine AISI H11 sıcak çalışma çeliğini de aynı analizlere tabi tutmuşlardır. Sonunda da kesme kuvvetleri için en önemli faktörün kesme derinliği, sıcaklık için kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü içinse ilerlemenin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Saini ve ark., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI H11 takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlardır.

Suresh ve ark., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, RSM kullanarak AISI 4340 sertleştirilmiş çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerlem, kesme derinliği ve kesme zamanı) kesme kuvvetlerine, takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlardır. Bunun sonunda kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme, kesme derinliği ve kesme zamanı olması gerektiğini; takım aşınması içinse düşük ilerleme ve kesme hızı olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Chavoshi ve Tajdari, 2010 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, sertlik (H) ve kesme hızı değişkenleriyle AISI 4140 çeliğini CBN kesici uçla sert tornalama işlemiyle işleyerek Ra değerinin değişimini gözlemlemişlerdir. Toplamda on sekiz deney yapmışlar. İlerleme ve talaş derinliğini sabit almışlardır. Regresyon ve YSA ile oluşturulan optimum model yüzey pürüzlülüğü tahmininde kullanmışlardır. Sonuç olarak sertlik tahmininin doğruluğu kabul edilebilir fakat kesme hızı tahmini istenilen doğrulukta bulmuşlardır. Sertliğin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shihab ve ark., 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI 52100 sertleştirilmiş çeliğinin kuru tornalama işleminde mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü

açısından farklı kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) yüzey kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğünde deneysel verileri toplamak için CCD (central composite design) kullanmışlardır. Üç giriş parametresinin önemini belirlemek için ANOVA analizi yapmışlar ve parametrelerin sonuçlarını RSM metoduyla analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonunda yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme; mikro sertlik içinse kesme hızı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Aruna ve ark., 2012 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, Sermet takımlar kullanarak, nikel bazlı süper alaşım olan INCONEL 718 malzemesinin yüksek hızda tornalanması boyunca kesme parametrelerinin optimize edilmesinde Taguchi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Sermet takımların performansını da RSM metoduyla analiz etmişlerdir. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını optimize etmişlerdir. Çalışmanın sonunda yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması için en etkili parametrenin kesme hızı olduğunu belirlemişlerdir.

Sahoo ve ark., 2011 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, AISI 1040 yumuşak çeliğinin CNC tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü açısından farklı kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) yüzey profilinin oluşumu üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Üç giriş parametresinin önemini belirlemek için ANOVA analizi yapmışlar ve parametrelerin sonuçlarını genetik algoritma kullanarak optimize etmişlerdir.

Ranganath ve ark., 2014 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, çeşitli malzemelerin işlenmesinde kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini deneylerle analiz etmişlerdir. Deneylerin sonuçlarını Taguchi, RSM ve diğer metotlarla karakterize etmişlerdir. Bunun sonucunda da RSM sonuçlarının diğer sonuçlara göre daha etkili olduğunun kanısına varmışlardır ve RSM yöntemini yüzey pürüzlülüğü analizinde uygulamışlardır.

Tablo 1.1. : CoCrMo ASTM F 1537 ve ASTM F 75 serisi çeliklerin kimyasal bileşimi (Yang 2012)

Material	C	Cr	Mo	Ni	Fe	Si	Mn	Co
ASTM F1537	≤0.14	26-30	5-7	1 max	0.75	1max	1max	balance
ASTM F75EBM	≤0.14	27-30	5-7	<0.5	<0.75	<1%	<1%	balance

Bu çalışmada, Co28Cr6Mo medikal alaşımının CNC tornalamada (devir sayısı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve uç yarıçapı) kesme parametrelerine bağlı olarak işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra,Rz) deneysel ve teorik sonuçları analiz edilecektir. Kesme parametrelerinin önem durumlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan parametrelerin optimizasyonu ise Taguchi ortogonal deney tasarımına bağlı cevap yüzey metodolojisi (RSM) ile belirlenecektir.

3. BİYOSTABİL METALLER VE BİYOMEDİKAL ALAŞIMLAR

Metal malzemeler ve alaşımları, malzeme biliminin büyük bir kısmını oluşturur. Teknik problemlerin çözümü için genellikle yeni ve eşi benzeri olmayan malzeme kombinasyonlarına ihtiyaç vardır. Bu bölümde, medikal alanlardaki problemlerin çözümü için kullanılan metal malzemeler ve alaşımlarından söz edilecektir.

Biyomedikal malzemelerin neler olduğu tartışıldığında, paslanmaz çelikler metal grubu göze çarpar. Bu grup malzemelerin birbirine benzer birden fazla farklı versiyonları bulunur. Aynı zamanda diğer metal malzemelerde biyomedikal alanda önemli bir rol üstlenir. Bu metal malzemeler, gümüş, tungsten, zirkonyum, nikel, tantal, titanyum ve kobalt alaşımlarına dayanır (Sahınoja 2013).

İlk başarılı sentetik protezler iskeletteki kırıkların tedavisinde kullanılan kemik plakalarıdır. Bunu 1950'lerde kan damarlarının değişimi ve yapay kalp vanalarının geliştirilmesi, 1960'larda da kalça protezleri izlemiştir. Kalp ile ilgili cihazlarda esnek yapılı sentetik bir polimer olan poliüretan kullanılırken, kalça protezlerinde paslanmaz çelikler tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra, ilk olarak 1937'de diş hekimliğinde kullanılmaya başlanan (PMMA) Polimetilmetakrilat ve yüksek molekül ağırlıklı polietilen de kalça protezi olarak kullanılmıştır. II. Dünya Savaşından sonra Poliamid, damar protezlerinde kullanılmıştır. 1970'lerde ilk sentetik, bozunur yapıdaki ameliyat ipliği, Poliglikolikasit'den üretilmiştir. Kısacası, son 30 yılda 40'ı aşkın metal, seramik ve polimer, vücudun 40'dan fazla değişik parçasının onarımı ve yenilenmesi için kullanılmıştır (Pasinli 2004).

Bugün için, metalik biyomalzemeler olarak en fazla uygulama alanı bulan metal ve alaşımları, paslanmaz çelikler (316L), titanyum ve titanyum alaşımları, kobalt-krom alaşımları, kobalt-nikel-krom-molibden alaşımı, tantal alaşımları, nikel-titanyum alaşımları, amalgam ve altındır. Platin, tantal ve zirkon gibi elementlerin mekanik dayanımlarının düşük olması nedeniyle implant olarak kullanım alanları sınırlıdır. Yük taşıyıcı olarak en yaygın kullanılan metalik malzemeler, paslanmaz çelikler, Co-Cr-Mo alaşımları ile titanyum ve titanyum alaşımlarıdır. Biyomalzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılırlar. Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyomalzemeleri sert doku yerine kullanılacak biyomalzemeler ve yumuşak doku yerine kullanılacak biyomalzemeler olarak da iki grupta toplamak mümkündür. Ortopedik ve diş protezleri, genelde birinci grup kapsamına giren metal ve

seramiklerden hazırlanırken, kalp damar sistemi ve genel plastik cerrahi malzemeleri, polimerlerden üretilmektedir (Güven 2010).

Tablo 3.1. Biyomedikal malzemelerin uygulama alanları (Güven 2010)

MALZEME	İMPLANT UYGULAMALARI
316L	Kemikler, plakalar, vidalar, pimler, çiviler, stentler
Co28Cr6Mo	Kalça, diz, dirsek, omuz, ayak bileği, parmak protezlerinde; kemik plakalarında, vidalarda, çubuklarda, kalp kapakçıklarında
Titanyum	Kemik plakalarında, vidalarda, çubuklarda, kalp kapakçıklarında, kalp atışlarını düzenleyen aygıtlarda
Ti-6Al-4V	Kalça, diz, dirsek, omuz, ayak bileği, parmak protezlerinde
Tantalyum	Tel, folyo, levhalar, klipsler, elektrot

3.1. Metalik Biyomalzemeler

Metalik biyomalzemeler; Titanyum ve titanyum alaşımları, paslanmaz çelikler, altın ve kobalt gibi metal ve metal alaşımlarının büyük bir kısmını oluşturur. Metalik biyomalzemeler ortopedik uygulamalarda eklem protezi ve kemik yenileme malzemesi olarak kullanılırken, diğer yandan yüz-çene cerrahisinde, diş implantında ya da kalp-damar cerrahisinde yapay kalp parçaları, vana ve kalp kapakçığı olarak da kullanılmaktadırlar. Teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan biyomedikal cihazların üretiminde de metalik biyomalzemeler tercih edilmektedir.

Tablo 3.2. Yaygın metalik biyomalzemelerin fiziksel özellikleri (Güven 2010)

Özellikler	316L Paslanmaz çelik	CoCrMo alaşımı	CoNiCrMo alaşımı	Ti6Al4V alaşımı	Tantalyum
Çekme Dayanımı (Mpa)	485-860	655	793-1793	860	207-517
Akma Dayanımı (0,2%) (Mpa)	172-690	450	240-1585	795	138-345
Uzama (%)	12-40	8	8-50	10	2-30
Kesit Daralması (%)	-	8	35-65	25	-
Yoğunluk (g/cm^3)	7,9	8,3	9,2	4,5	16,6
Korozyon Dayanımı	Yüksek gerilmelerde zayıf	Üstün	Üstün	Üstün	İyi

3.1.1. Paslanmaz Çelikler

Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasında yaralan paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini krom elementine borçludurlar. (Çetinçalı 2010).

Paslanmaz çelikler, korozyona dayanıklı çelikler olarak bilinir, çünkü minimum %11 krom içeren demir bazlı alaşımlardır. Krom sayesinde bu çelikler korozyona dayanıklıdır. Paslanmaz çelikler genellikle yüksek sünekliğe, yüksek kaynak kabiliyetine ve yüksek kriyojenik tokluk özelliklerine sahiptir. Aynı zamanda yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementlerin içeriği ve işlerken pekleşme özelliği işlemeyi zorlaştıran başlıca etkenlerdir. Dolayısıyla paslanmaz çelikler işlenirken, normal karbon çeliklere göre daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle paslanmaz çelik içerisindeki alaşım miktarı arttıkça işlenebilirlik o derece zorlaşmakta ve işlenebilirlik maliyeti o derece artmaktadır. Paslanmaz çeliklerin iki önemli fiziksel özelliği, ısıl iletkenliği ve termal genleşme oranıdır. Örneğin; 304 tipi paslanmaz çelikler genellikle, karbon çeliklerinden daha düşük ısıl iletkenliğine sahiptir. Fakat termal genleşme oranları, karbon çeliklerinden daha yüksektir. Böylelikle kaynak esnasında, çeliğin kalibre edilebilmesi, kaynak sırasının takip edilebilmesi ve sertleştirme prosedürlerinin sağlanabilmesi için bakımı iyi yapılmalıdır (Hansda 2011).

3.1.2. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması

3.1.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, %18 Cr, %2 Mo, %2'den daha az Ni ve %0,1-1 civarında C içerirler. İçerisindeki Ni ve Mo, çeliğin mukavemetini artırır. Martensitik paslanmaz çelikler, ısıya tabi tutularak kolaylıkla sertleştirilebilir ve aşınmaya karşı son derece dayanıklıdır. Bu tip paslanmaz çelikler, mukavemet açısından diğerlerine göre çok daha iyi özellikler göstermesine rağmen, paslanmazlık özelliği en düşük olanıdır. Başlıca uygulama alanları; yaylar, somun ve perçinler, subap ve kolları, vidalar, pompa parçaları, valfler, cerrahi aletlerin imalatı, bıçak ağızları, vb kullanım alanları mevcuttur (www.yıldız.edu.tr).

3.1.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

%15-30 Cr içeren kübik hacim merkezli kafes yapısına sahip, faz dönüşümü göstermediği için sertleştirilmeyen paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanmazlık özelliği daha düşük olan bir çelik türüdür ve bu nedenle paslanmazlık özelliğinin çok ciddi boyutlarda istenmediği otomotiv sanayi gibi alanlarda daha çok kullanım alanı bulurlar. Başlıca uygulama alanları; petrol endüstrisindeki tankların astar ve boru sistemleri, ısı değiştirici ve kazan boruları, sıcak su tankları, depolama ve taşıma tankları, türbin kanatları, vb. kullanım alanları mevcuttur (www.yıldız.edu.tr).

3.1.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler, en yaygın kullanılan türdür. %16-26 Cr ve %7-22 Ni içerirler ve kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahiptirler. Kolaylıkla şekillenebilirler, kaynak kabiliyetleri iyidir ve oksidasyon dirençleri yüksektir. Korozyon direnci açısından östenitik paslanmaz çelikler, diğerlerine göre üstündür. En yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çelik ise 18/8 (% 18 Cr-% 8 Ni) çeliğidir. Başlıca uygulama alanları; Boru birleştirme elemanları, uçak endüstrisi, paneller, teller, kondenserler, süt tankları, taşıma tankları, tarım makinaları ve sanayi şaftları, karıştırıcılar, kaynatma kazanları, eczacılık petrokimya ve kimya alanları vb kullanım alanları vardır (www.yıldız.edu.tr).

3.1.2.4. Dubleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

%18-28 Cr ve %7-22 Ni , %3 civarlarında molibden ve %0,02 civarlarında karbon içeren kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahip östenitik ve ferritik fazların bir arada bulunduğu paslanmaz çelik çeşididir. Başlıca uygulama alanları; denizcilik uygulamaları, arıtma tesislerinde, ısı değiştiricilerinde, petrokimya tesislerinde uygulama alanları mevcuttur (www.yıldız.edu.tr).

3.1.2.5. Çökelme sertleşmesi gösteren Paslanmaz Çelikler

Bu alaşımlar, değişen miktarlarda nikel ve molibdenin yanı sıra genellikle %10-30 Cr içerirler. Bu alaşımlar, pek çok uygulamalar için, korozyon direncinde kayıp olmaksızın mekanik dayanımları yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda bile bu özelliklerini korurlar. Uçak, savunma, uzay sanayinde yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve korozyon direnci gereksinimi ile geliştirilmişlerdir (www.yıldız.edu.tr).

3.1.3. Paslanmaz çeliklerin farklı tiplerinin bileşimleri

3.1.3.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

AISI 410 : %13 Cr ve %0,15 C alaşımlarından meydana gelir. Sünekliği ve korozyon dayanımı iyidir. Kolayca kalıplanır ve işlenebilir.
AISI 416 : 410 tipi çeliğine benzerdir fakat işlenebilirliğini geliştirebilmek için kükürt eklenmelidir.
AISI 431 : %17 Cr, %2 Ni ve maksimum %0,15 C içeren alaşımlardır. Yapısındaki nikelden dolayı korozyon direnci yüksektir. Genellikle çubuk şeklinde bulunur.

3.1.3.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

AISI 430 : %17 Cr içeren, düşük alaşımlı çeliklerdir. Yaklaşık 800°C sıcaklıkta korozyon dirençleri iyidir. İşlenebilirliğinin düşük olması nedeniyle levha ve şerit şeklinde uygulanır. Isıya dayanıklı araçlarda, brülörde, elektrikli ev aletlerinde, lavabo kapaklarında vb. yerlerde kullanılır.

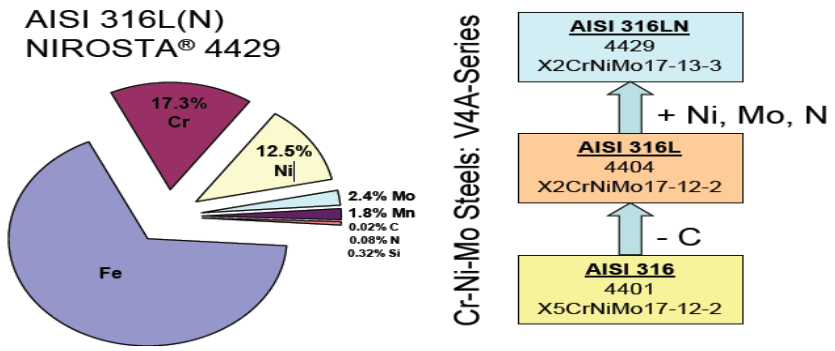
3.1.3.3. Dubleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

UNS S31803 : Maksimum %0,03 C, %22 Cr, %5,5 Ni, %3 Mo ve %0,15 N içerir.
UNS S32304 : Maksimum %0,03 C, %23 Cr, %4 Ni ve %0,1 N içerir.
UNS S32750 : Maksimum %0,03 C, %25 Cr, %7 Ni, %4 Mo ve %0,28 N içerir.

3.1.3.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler

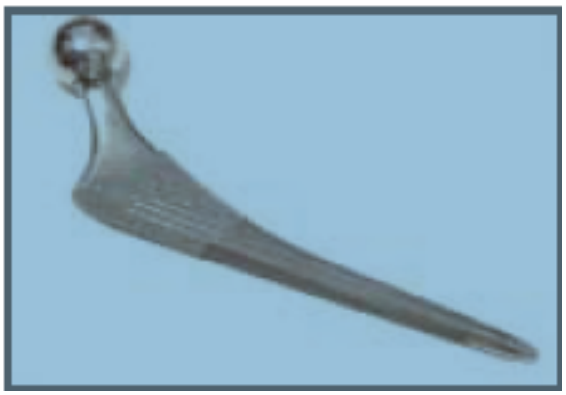
AISI 304 : %18 Cr ve %8 Ni içerirler. Korozyon dirençleri mükemmeldir. Kaynak kabiliyeti yüksektir. Lavabolarda, boru tesisatında, otomobil parçalarında, su ısıtıcıları vb. yerlerde kullanılır.
AISI 321 : 304 tipi çeliğidir. Karbon içeriği 304 tipiyle aynıdır. 304 tipi çeliğinden farkı, içerisindeki Ti elementidir. Bu yüzden mukavemeti daha yüksektir. Kazan kapaklarında, uçak egsoz boruları vb. yerlerde kullanılır.
AISI 317 : 304 ve 321 tipi çeliğe ek olarak %4 Mo içerir. Yine mukavemeti daha yüksektir.
AISI 316 : 317 tipi çeliğidir. 317 çeliğine ek olarak %2-3 Mo içerir. 317 tipine göre mukavemeti düşüktür. İçerisinde Mo olmasından dolayı korozyon direnci 304 tipi çeliğe göre daha fazladır. Deniz malzemelerinde, gıda endüstrisinde, gübre ve kimyasallar vb. yerlerde kullanılırlar. Birçok çeşidi bulunmaktadır (Hansda 2011) :

AISI 316 L : Bu çelikler 316 serisinin düşük karbonlusudur. Düşük karbonlu olmasından dolayı paslanmazlık özelliği daha düşüktür. Böylelikle daha kolay işlenebilir. 316L'nin, %60-65'i demir olup, %17-19 krom ve %12-14 nikelden oluşur. Özellikle kaynak ürünlerinde ve kimya endüstrisinde kullanılırlar. Aynı zamanda medikal implantlarda; kemikler, plakalar, vidalar, pimler, çiviler, stentler vb. kullanılır (Rieth 2004).



Şekil 3.1. AISI 316 Östenitik Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (Rieth 2004)

AISI 316 LVM : 316 L serisi paslanmaz çeliktir. 316 L serisi çeliğin vakumla ergitilmiş halidir. Daha çok medikal alanlarda kullanılır. 316 L çeliğine göre korozyon direncinin ve mukavemeti fazladır. Bu yüzden işlenebilirliğinin kolaylaştırılması için 316 LVM serisine ek olarak kükürt ilavesi yapılabilir. Bundan başka 316 H, 316 Ti, 316 N ve ayrıca AISI 301, 904 L, 220 S vb. çeşitleri de bulunmaktadır. Bu çeşitlerin her birinin yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri yüksektir ve yüksek mukavemetlidir (Hansda 2011).



Şekil 3.2. AISI 316 LVM serisi paslanmaz çelikten üretilmiş kalça protezi (Güven 2010)

3.2. Kobalt ve Diğer Alaşımlı Malzemeler

Bu tür alaşımların bileşimleri, temel olarak ağırlıkça %65 kobalt ve geri kalanı kromdan oluşur. Daha iyi tanecik elde etmek için yapıya molibden eklenir. Kobalt malzemeler, içerisindeki karbür ve katı çözeltilerin varlığından dolayı diğer malzemelere kıyasla yüksek mekanik özelliklere sahiptir. İçerisindeki kromdan dolayı, paslanmaz çelikler gibi yüksek direnç kabiliyetine sahip olmasına rağmen, korozyon

dirençleri paslanmaz çeliklerden daha düşüktür. Kobalt alaşımlı malzemelerin işlenmesi, paslanmaz çeliklere göre daha zordur. Kobalt içeren alaşımların elastik modülü, paslanmaz çeliğinkinden daha büyüktür. Kobalt alaşımlı malzemeler genelde kobalt-krom alaşımları olarak bilinir (Sahinoja 2013). Tablo 2' de CoCr alaşımlarının mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.3. CoCr alaşımlarının mekanik özellikleri (Şap 2012)

İMPLANT / MEKANİK ÖZELLİK	CoCrMo (F75)	CoCrWNi (90)	CoNiCrMo (F562)	
			Tavlanmış	Soğuk Dövülmüş ve Yaşlandırılmış
Çekme Dayanımı (MPa)	655	860	793-1000	1793 (min)
Akma Dayanımı (MPa)	450	310	240-655	1585
Uzama (%)	8	10	50,0	8,0
Kesit Daralması (%)	8	-----	65,0	35,0
Yorulma Dayanımı (MPa)	310	-----	-----	-----

3.2.1. Co-Cr-Mo Alaşımları

Bütün implant malzemeler arasında Co-Cr-Mo alaşımları korozyon direnci ile birlikte aşınma, yorulma ve dayanım özellikleri bakımından dengededir. Bu malzemeler çoğunlukla ısı ve aşınmaya karşı dirençli uygulamalarda kullanılır. Isı alanında kullanımına örnek olarak; turboşarj, gaz türbinleri ve hava jet motorları vb. yerlerde kullanılır. Aşınması bakımından da; kesici takımlarda, kalça, diz, bilek ve kemik plakalar gibi medikal implantların yapımında kullanılmaktadır (Dourandish ve ark 2008, Yang 2012).

İçerisindeki Co malzemesinin pahalı olmasından dolayı, bu alaşımın maliyeti paslanmaz çeliklerden yüksektir fakat paslanmaz çeliklerin ağır olmasından dolayı genellikle medikal alanda bu alaşım tercih edilir (Izman ve ark. 2012).

Bu alaşım kendi içerisinde farklı standartlarda bulunur. Bunlar;

- ASTM F 75, Co %28Cr %6Mo döküm alaşımı
- ASTM F 90, Co %20Cr %15W %10Ni dövme alaşımı
- ASTM F 799 (F 1537), Co %28Cr %6Mo termomekanik işlemle oluşturulmuş alaşımı
- ASTM F 562, Co %35Ni %20Cr %10Mo dövme alaşımı
- ASTM F 563, F 1058 Co-Cr-Ni-Mo-Fe dövme alaşımı
- UNS R30004 Co-Cr-Ni-W-Mo döküm veya dövme alaşımları

Dövme alaşımlar genelde sıcak çalışmada kullanılır fakat bazıları soğuk çalışmada da kullanılabilir. Akma dayanımı büyük ölçüde tane boyutundan ve soğuk çalışmadan etkilenir. Ergime sıcaklıkları 1350-1430 ºC arasındadır. Medikal amaçlar için metal alaşımların dövülmesi, yapısal uygulamalarda kullanım olarak malzemeyi kısıtlayacaktır fakat malzemenin çekme dayanımı ve tokluğunu da artıracaktır.

ASTM F75 serisi alaşımlar, genelde Vitallium veya Haynes 21 ismiyle adlandırılır. Genellikle iyi aşınma dirençli ve yüksek mukavemetli olarak bilinir ve içerisindeki kromdan ve Cr_2O_3 koruyucu tabakasından dolayı korozyon direnci yüksektir. Bu alaşımlar Co %65 Cr %28 ve %6 Mo ve diğer elementlerin birleşimini içerir (Şahinoja 2013). Alaşım hassas dökümle şekillendirilerek döküldüğünde, 1350-1450°C arasında erir ve seramik kalıplar içine dökülür.

ASTM F90 alaşımları, genelde L-605 veya Haynes 25 ismiyle adlandırılır. Bu alaşımlar, ASTM F75 grubuna benzerdir. Farkı, fabrikasyon ve işlenebilirlik özelliklerinin fazla olması sonucunda %44 oranında soğuk çalışmada kullanılır (Şahinoja 2013).

ASTM F1537 alaşımları, mekanik işlem boyunca ASTM F75 serisinden türemiştir. Bu alaşım, sıcak dövülmüş metal çubuklarla istenen şekillerde üretilir. ASTM F 1537 grubu, ASTM F75 serisine kıyasla çekme, akma ve yorulma dayanımları daha yüksektir. Fakat aşınma dirençleri daha düşüktür. Alaşımın hassas mikro yapısından dolayı sıcak izostatik presleme (HIP) yöntemiyle birlikte toz metalürjisinin uygulanmasıyla iyi mekanik özellikler kazanabilir. Aynı zamanda alaşımın aşınma özellikleri de HIP işlemi boyunca gelişebilir (Yang 2012).

Tablo 3.4. CoCr alaşımlarının karşılaştırılması (Bordin 2014)

Özellikler	ASTM F 75	Dövme ASTM F 1537
Elastik Modülleri [GPa]	165	240
Sertlik [HRC]	47	35
Çekme Dayanımı [MPa]	719	1172
Akma Dayanımı [MPa]	796	827
Uzama [%]	1.0	12

ASTM F562 alaşımları genelde MP35N ismiyle adlandırılır. Bu alaşımlar, diğer kobalt esaslı alaşımlara kıyasla yüksek korozyon direncine, sünekliğe ve yüksek dayanıma sahiptir. Alaşımın yüksek kobalt içeriğinden dolayı soğuk çalışmada kullanıldığında malzemenin kristal yapısı değiştiğinden daha yüksek mukavemet elde edilir (Şahinoja 2013).

ASTM F563, ASTM F1058, ve UNS R30004 alaşımları, kan hemolizi, deri hassasiyeti, kas içi implantı vb. açıdan zararlı etkisi olmayan ve tıbbi cihazlar için kullanıma uygun olan alaşımlardır. ASTM F563 genellikle tel, çubuk ve döküm şeklinde kullanılır. ASTM F 1058, kalp kapakçığında, diş köprüsünde, nörolojide ve damar cerrahisinde kullanılır. UNS R30004 alaşımı da medikal alanda önemlidir fakat henüz uygulama alanı bulunmamaktadır (Şahinoja 2013).



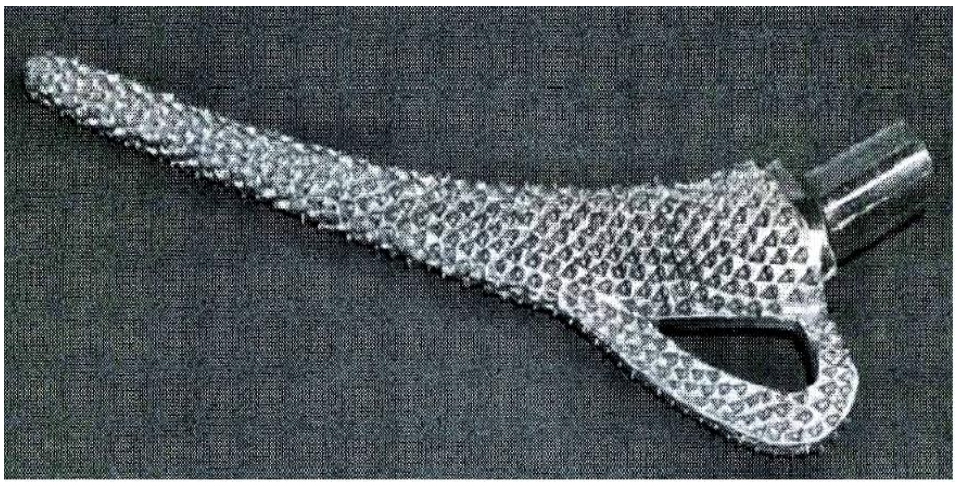
Şekil 3.3. Co-28Cr-6Mo alaşımlı çelikten üretilmiş kalça implantı (Güven 2010)

3.3. Titanyum Alaşımları

Fiziksel ve kimyasal açıdan üstün özellikler gösteren titanyum, 316 paslanmaz çelik ve kobalt alaşımlarına göre daha hafif bir malzemedir. Ergime sıcaklığı 1680 ºC olan ve oda sıcaklığında sıkı dizilmiş hekzagonal kafes yapısına sahip bir metaldir. Korozyona karşı direnci yüksektir. Titanyumun elde edilmesi ve işlenmesi çok zor olduğundan metal olarak kullanılması çok özel alanlarla sınırlandırılmıştır (Muterlle 2010). Bu alaşımın birçok avantajı vardır:

- Uzun süre implantasyonda (deri içine yerleştirmede) en iyi uyumluluk
- Yoğunluğu düşüktür.
- Manyetik olmadığından magnetik rezonans için uyumludur.

Geleneksel olarak titanyum kullanımı uzay, uçak ve deniz sanayi alanlarında yoğunlaşmıştır. Bugün titanyum ve alaşımları protez eklem, cerrahi splint, damar stentler ve bağlayıcıları, dental implant, kemik içi implant ve protez yapımında kullanılmaktadır. Metalin mekanik özelliklerini geliştirmek için; örneğin, alüminyum, vanadyum ve demir gibi metallerle alaşımı yapılır. Uluslararası ASTM, dört çeşit ticari saf titanyumu ve Ti6AI4V, "Tİ6AI4V ekstra az boşluklu" ve TiAlNb olmak üzere, üç titanyum alaşımını standart olarak tanımlamaktadır (Pasinli 2004).



Şekil 3.4. Titanyum alaşımlarından yapılmış kalça eklem gövdesi (Muterlle 2010)

3.4. Dental Amalgam Alaşımı

Amalgam; bakır, gümüş, kalay ve çinko'dan oluşan alaşımın cıva ile karıştırılması sonucu hazırlanan sert ve dayanıklı bir malzemedir. Cıva, oda sıcaklığında sıvı fazda olur ve diğer metallerle reaksiyona girmesi sonucu, bir oyuk içini doldurulabilecek plastik kütle halini alır. Bu özelliğinden dolayı amalgam, diş dolgu maddesi olarak kullanılır. Son yıllarda amalgamın içerdiği civanın çevresel etkileri önem kazanmış ve civanın doğa için zararlı bir atık olmasından dolayı, birçok Avrupa ülkesinde amalgam kullanımı, büyük ölçüde kısıtlanmıştır. (Pasinli 2004).

3.5. Altın Alaşımları

Altın ve altın alaşımları kararlılık, korozyon direnci ve uzun ömürlü oluşlarından dolayı diş tedavisi açısından yararlı metallerdir. Bu alaşımların %75 veya daha fazlası altın, geri kalan kısmı ise soy metallerden oluşur. %83'ten fazla altın içeren yumuşak alaşımlar fazla yük altında kalmayacak şekilde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Daha az altın içeren alaşımlar ise daha serttirler ve yüke karşı dayanımları daha yüksektir. Bu nedenle kaplama malzemesi olarak kullanılırlar (Pasinli 2004).

3.6. Biyoseramikler

Seramikler vücudun zarar gören veya işlevini yitiren organlarının onarımı, yeniden yapılandırılması veya yerini alması için kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan seramikler, "biyoseramikler" olarak adlandırılırlar. Biyoseramikler, polikristalin yapılı seramik (alümina ve hidroksiapatit), biyoaktif cam, biyoaktif cam seramikler veya biyoaktif kompozitler (polietilen–hidroksiapatit) şeklinde hazırlanabilmektedir. İnorganik malzemelerin önemli bir grubunu oluşturan bu malzemeler, sağlık sektöründe çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bunlar arasında, gözlük camları, teşhis cihazları, termometreler, doku kültür kapları ve endoskopide kullanılan fiber optikler örnek olarak verilebilir. Biyoseramiklerin kullanımını sınırlayan nedenlerin en önemlileri, bazı klinik uygulamalardaki yavaş ilerleyen çatlaklar, düşük mekanik dayanım, kırılganlık ve işlenmelerinin zor olmasıdır. Bu olumsuzlukları önlemek için kullanılan iki yeni yaklaşımdan birisi, biyoaktif

kompozitler, diğeri ise biyoaktif seramiklerle yapılan kaplamalardır (Güven 2010). İki önemli türü mevcuttur. Alümina (Al_2O_3) ve zirkonya (ZrO_2).

3.6.1. Alümina

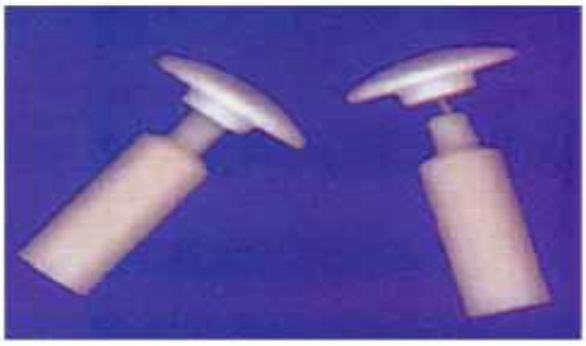
Yüksek yoğunluk ve yüksek saflığa (>%99.5) sahip alümina, korozyon direnci, yüksek dayanımı ve iyi biyouyumluluk özelliğinden dolayı, kalça protezlerinde ve diş implantlarında yaygın kullanıma sahiptir. Alümina, 20 yılı aşkın süredir ortopedik uygulamalarda kullanılmaktadır.

3.6.2. Zirkonya

Zirkonya da, alümina gibi bulunduğu fiziksel ortam üzerinde inert etki gösterir. Çok daha yüksek çatlama ve bükülme direncine sahip olan zirkonya, uyluk kemiği protezlerinde başarıyla kullanılmaktadır.

3.6.3. Kalsiyum-fosfat (Ca-P) seramikler

Kalsiyum ve fosfat atomlarının çoklu oksitleri şeklindeki yapılardır. Kalsiyum fosfat bazlı biyoseramikler, tıpta ve dişçilikte 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Bu malzemeler, ortopedik kaplamalar ve diş implantlarında, yüz kemiklerinde, kulak kemiklerinde, kalça ve diz protezlerinde "kemik tozu" olarak kullanılmaktadır. Şekil 2'de orta kulak implantına ait bir uygulama görülmektedir (Pasinli 2004).



Şekil 3.5. (Ca-P) seramikten yapılmış bi orta kulak implantı (Pasinli 2004)

3.6.4. Cam ve cam-seramikler

Camlar, silika (SiO_2) bazlı malzemelerdir. Cam seramikler, (Li/Al) Lityum/Alüminyum veya (Mg/Al) Magnezyum/Alüminyum kristalleri içeren camlardır. Biyocamda ise, silika gruplarının bazıları kalsiyum, fosfor veya sodyum ile yer değiştirmiştir (SiO_2, Na_2O, CaO, P_2O_5). Böylece doku ve implant arasında kimyasal bağlanma gerçekleşir (Pasinli 2004).

3.7. Polimer Protez Malzemeler

Polimerler, içerisinde karbon bulunan, uzun organik molekül zincirlerinden oluşurlar. Çoğu kristal yapıda değildir. Zincir molekülleri çok uzun ve esnek olduklarından, birbirleriyle kolayca bağlanabilirler ve kristal olmayan yapılar meydana getirebilirler. Asıl bağlar, sık dizilişe engel olan iri yan atomlar bulundurduğundan, katı haldeki polimerler nispeten gevşek dizilmiş yapıya sahiptir. Bu atom düzeni aynı zamanda kristal olmayan bir yapının da oluşmasına yol açmaktadır (Sarsılmaz 2003).

PMMA (polimetil metakrilat) : Hidrofobik, doğrusal yapıda bir zincir polimeridir. Oda sıcaklığında camsı halde bulunur. Işık geçirgenliği, sertliği ve kararlılığı nedeniyle göziçi lensler ve sert kontakt lenslerde kullanımı yaygındır. (Sarsılmaz 2003).

Hidrojeller : Hidrojeller, suda şişebilen, çapraz-bağlı polimerik yapılara denir. Hidrojeller, tıbbi uygulamalar açısından sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle son yıldır ilgi odağı durumundadırlar. Hidrojeller, genellikle kontakt lenslerde kullanılır.

Polietilen (PE) : Tıbbi uygulamalarda yüksek-yoğunluklu polietilen (PE) kullanılır. PE, tüp formundaki uygulamalarda, çok yüksek molekül ağırlıklı olanıysa yapay kalça protezlerinde kullanılır.

Polipropilen (PP) : Polipropilen, PE'e benzer, ancak daha sert olur. Kimyasal direnci yüksek ve çekme dayanımı iyidir. PE'nin yer aldığı uygulamalarda polipropilen de kullanılabilir.

Politetrafloroetilen (PTFE) : Politetrafloroetilen (PTFE), Teflon ticari adıyla bilinir. Polietilen benzeri yapıda olup, polietilendeki hidrojenlerin, flor atomlarıyla yer değiştirmesi sonucu sentezlenir. Damar protezlerinde kullanılır.

Polivinilklorür (PVC) : Polivinilklorür, tıbbi uygulamalarda tüp formunda kullanılır. Bu uygulamalar, kan nakli, diyaliz (kanın makineyle süzülmesi) ve beslenme amaçlı olabilir.

Polidimetilsiloksan (PDMS) : Polidimetilsiloksan, karbon ana zinciri yerine silisyum-oksijen ana zincirine sahiptir. PDMS, drenaj borularında, bazı damar protezlerinde ve yüksek oksijen geçirgenliği nedeniyle membran oksijenatörlerde (solunum cihazları) kullanılır. Mükemmel esneklik ve kararlılığından dolayı parmak eklemleri, kan damarları, kalp kapakçıkları, göğüs implantları, diş, kulak, çene ve burun implantları gibi çok sayıda protezde kullanılır.

Poliüretanlar (PÜ): Poliüretanlar, "yumuşak" ve "sert" segmentlerden oluşan polimerlere denir. Kanla uyumlulukları çok iyi olduğundan özellikle kalp-damar uygulamalarında tercih edilirler (Sarsılmaz 2003).

3.8. Kompozit Biyomalzemeler

Dokular genel olarak sert ve yumuşak dokular olmak üzere iki gruba ayrılır. Sert dokulara örnek olarak kemik ve diş, yumuşak dokulara örnek olaraksa kan damarları, deri ve bağlar verilebilir. Yapısal uyumluluk düşünüldüğünde, metaller ya da seramikler sert doku uygulamaları için, polimerler ise yumuşak doku uygulamaları için seçilebilir. Metaller ve seramiklerin "elastik modül" ile tanımlanan sertlik dereceleri, insan vücudundaki sert dokulara oranla 10-20 kat daha fazla olur. Ortopedik cerrahide karşılaşılan en önemli problemlerden biri, kemikle metal ya da seramik implantın sertlik derecesinin birbirini tutmamasıdır. Kemik ve implanta binen yükün paylaşılması doğrudan bu malzemelerin sertliğiyle ilgilidir. İmplantın sertlik derecesinin, temasta olduğu dokularla aynı olacak şekilde ayarlanması, kemikte oluşacak deformasyonları engeller. Kullanımdaki tüm bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla, yani polimer kompozitler alternatif olarak sunulmaktadır (Pasinli 2004).

"Kompozit", farklı kimyasal yapıdaki iki ya da daha fazla sayıda malzemenin, sınırlarını ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı malzeme olarak tanımlanabilir (Ayhan 2002). Kompozit malzeme, "matris" olarak adlandırılan bir malzeme içerisine çeşitli güçlendirici malzemelerin katılmasıyla hazırlanır. Matris olarak çeşitli polimerler, güçlendirici olaraksa çoğunlukla cam, karbon ya da polimer lifler, bazen de mika ve çeşitli toz seramikler vücut içi uygulamalarda güvenle kullanılabilir (Sarsılmaz 2003)

4. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

İşlenebilirlik, kesici takımla, malzemenin işleme performansını ifade etmek için kullanılan terimdir. Başka bir deyişle, iş parçasının kesici takımla şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğudur. İşlenebilirlik; iş parçası sertliği ve dayanımı, deformasyon sertleşmesi kapasitesi, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme katsayısı gibi mekanik özelliklerin yanı sıra ısıl özellikler ve mikro yapıya da bağlıdır (Çetinçalı 2010).

Yapılan işlenebilirlik deneylerinin çoğunda tornalama yöntemi kullanılmış, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri vb. daha birçok faktör dikkate alınmıştır (Kayır 2012). Bu faktörler şunlardır:

- a) İş parçasının kimyasal bileşimi
- b) Takım tezgahı
- c) Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri
- d) Kesme şartları (Takım ömrü, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme sıvısı, işleme biçimi)
- e) Kesme kuvvetleri
- f) İşlenen yüzey kalitesi
- g) Talaş karakteristiği (Talaş tipi, talaş kalınlığı, talaş kaldırma oranı vb.)

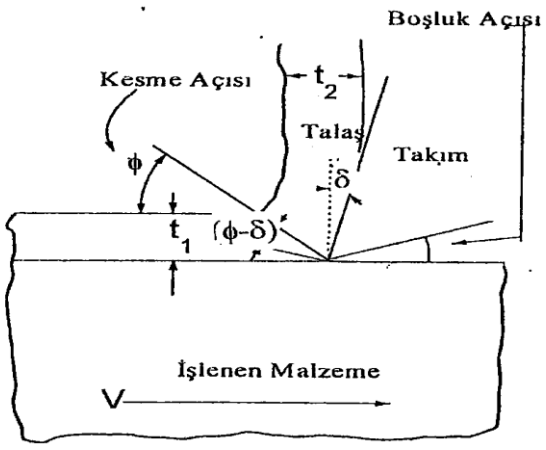
Metal kesme veya talaş kaldırma, imalat endüstrisinde parçaları şekillendirmek için kullanılan en eski işleme yöntemlerinden biridir. Dünya çapında üretilmiş tüm mekanik parçaların % 15'i işleme faaliyetlerinden elde edildiği tahmin edilmektedir. Üretim şirketleri, mümkün olan minimum maliyette ve yüksek kalitede parçaları işlemelidir (Pathade 2013).

Metallerin verimli işlenmesi için, sadece işlenen malzeme hakkında verilere sahip olmak yeterli olmamakta, işlenecek malzemeye uygun kesici takımın doğru seçimi de gerekmektedir (Aydın ve ark. 2010). Dolayısıyla kesici takımın ömrü, imalat mühendisleri ve araştırmacıları açısından son derece önemli bir faktördür.

İşleme esnasında kaçınılmaz durumlar oluşabilir. Takımla iş parçası arasındaki etkileşim sonucunda oluşan takım aşınması buna en güzel örnektir. Takım aşınması, kesici takımı zayıflatır, kesme kuvvetlerini artırır ve istenilen parça modelinde

eksiklikler meydana gelir. Bunun haricinde, kesme esnasında yüksek sıcaklık altında, yüksek basınç, yüksek kayma hızı veya ısıl şok etkisiyle birçok olay meydana gelir (Nedic 2013).

Bunlar; takım ve iş parçası arasındaki sürtünme, yüzey aşınması, termal çatlaklar, gevrek çatlaklar, yorulma çatlakları, uç kırılması ve takım deformasyon vb. faktörlerdir. Bir parça üzerinden kaldırılabilmesi için takımın iş parçasına nüfuz etmesi, takım veya iş parçasına uygulanan kesme kuvvetinin yeterli olması gereklidir. Ayrılan malzeme tabakası talaş olarak adlandırılır. Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için, takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli olması ve kesici takım malzemesinin iş parçasından daha sert olması gerekir (Yeyen 2006).



Şekil 4.1. Metal kesme işleminin temel mekaniği (Kasap 2001)

Metallerden talaş kaldırma mekanizması; Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Pozitif talaş açısı (δ) ve belli bir kesme kenarı açısına sahip kesici takım, t_1 kesme derinliğinde numune boyunca hareket ettirilmektedir. Kesici takım malzeme yüzeyi ile θ kadar kesme açısı yaparak, kesme düzlemi boyunca sürekli talaş kaldırılmaktadır.

Kesme açısı, talaş açısı ve talaş kaldırma oranı arasındaki ilişki Eş.4.1.'de verilmiştir.

$$\tan\theta = R.\cos\delta/(1-r.\sin\delta) \qquad (4.1)$$

Burada;

θ: Kesme açısı

R: t_1 / t_2 (talaş kaldırma oranı)

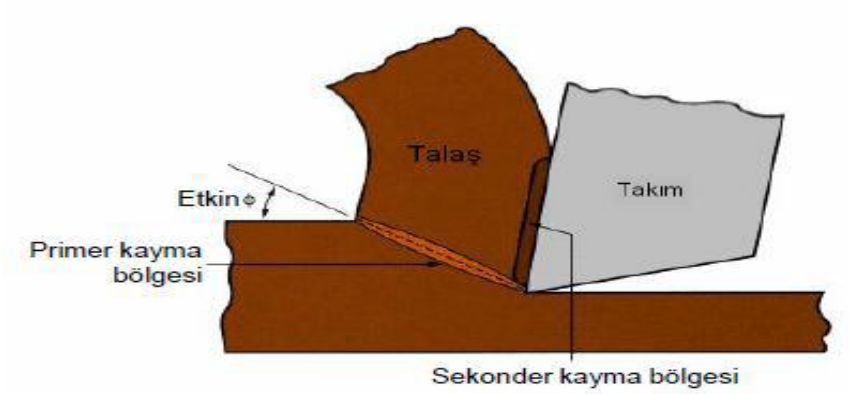
δ: talaş açısıdır.

r: Takım uç yarıçapı (mm)

Kesme açısı, talaş kalınlığı açısından önemlidir. Çünkü metal kesme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. İşleme esnasında malzemede kesme direnci (F_R) meydana gelir. (F_R) için Eş 4.2 bağıntısı ile hesaplanabilir (Kasap 2001).

$$F_R = \cot\theta + \tan(\theta-\delta) \quad (4.2)$$

4.1. Talaş oluşumu



Şekil 4.2. Talaş oluşumu (www.serkanaktashoca.com)

Kesici takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırması için gerekli olan üç şart şu şekilde özetlenebilir:

- Kesici olarak kullanılan bir takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması
- Kesici takımın, iş parçasına dalmasını kolaylaştırmak için belirli bir geometriye sahip olması
- İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı ve ilerleme hareketi olması gerekmektedir.

Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş, kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takımla etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler. Çoğu analizlerde bu bölgede kesici takım ve talaş arasında klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir. Fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalürjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışma olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bölgede yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı iki yüzey birleşerek metalin kayma hareketini durdurur. Fakat takım-talaş arasındaki hareket devam ettiğinden dolayı ara yüzeyde akma bölgesi oluşur. Hareketin şekli çoğunlukla kesilen iş parçası malzemesinin özelliğine ve kesme parametrelerine bağlıdır. Bu bölge "akma bölgesi" veya "ikinci deformasyon bölgesi" olarak adlandırılır (Çetinçalı 2010).

4.2. Talaş çeşitleri ve oluşma nedenleri

4.2.1. Sürekli (Akma) Talaş

Sünek parça malzemeleri, yüksek kesme hızları, küçük ilerleme ve kesme derinliği, sivri kesici kenar, düşük takım-talaş sürtünmesi dolayısıyla iyi yüzey kalitesi.



Şekil 4.3. Sürekli talaş (www.serkanaktashoca.com)

4.2.2. Kesintili Talaş

Gevrek parça malzemeleri, düşük kesme hızları, büyük ilerleme ve kesme derinliği, yüksek takım-talaş sürtünmesi dolayısıyla yüzey kalitesinin bozuk olması.



Şekil 4.4. Kesintili talaş (www.serkanaktashoca.com)

4.2.3. Yığma kenarlı (BUE) sürekli akma talaş

Sünek parça malzemeleri, düşük-orta kesme hızları, takım-talaş sürtünmesi dolayısıyla yeni yüzeye yapışan talaş parçacıkları, oluşan yığma kenarı ve kenar parçacıklarının belirli aralıklarla kopması.



Şekil 4.5. Yığma kenarlı sürekli akma talaş (www.serkanaktashoca.com)

4.2.4. Yarı kesintili talaş

Yarı sürekli-testere dişi görünümündedir. Yüksek kayma şekil değişimi ve düşük kayma şekil değişiminin ardışık olarak oluştuğu talaş şeklindedir. Daha çok talaş kaldırması zor metallerin yüksek hızlarda kesilmesi sonucunda meydana gelir.



Şekil 4.6. Yarı kesintili talaş (www.serkanaktashoca.com)

4.3. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler

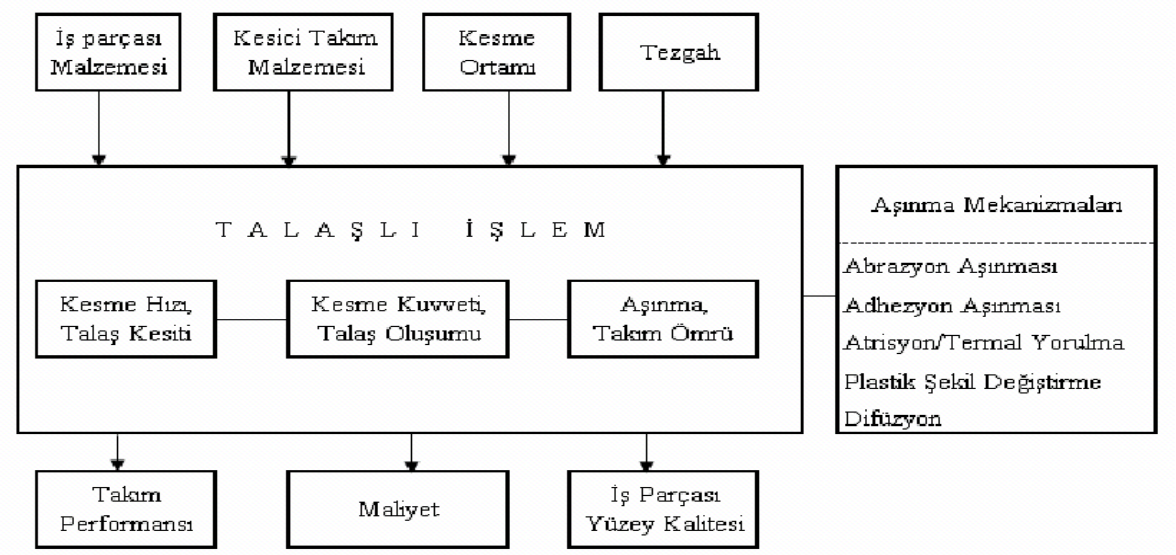
Talaş kaldırarak işleme tekniği; sekli, boyutları ve yüzey kalitesi önceden belirlenmiş parçaların metal işleme makinelerinde kesme operasyonu ile şekillendirilmelerini kapsar. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının nispi hareketleri ile iş parçasının belirli bir kısmında, gerilim oluşturarak gerçekleştirilir. Talaşlı imalat işlemlerinde mekanik enerji kullanılır. İşleme esnasında mekanik enerji hemen hemen tamamı ısı enerjisine dönüşür (Aydın ve ark. 2010).

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerine belirli kuvvetle bastırıldığında ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman, takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında önce elastik daha sonrada plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmalar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda talaş olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşerek farklı talaş tipleri meydana gelir. Sürekli talaş kaldırma işlemi bakımından, tornalama, talaş kaldırmayı en iyi şekilde karakterize etmektedir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirlerine

tepkilerinin dikkate alınması gereklidir. Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler şu şekilde sıralanabilir:

1. Kesici takım ömrü, T (dak.)
2. Kesme hızı, V (m/dak.)
3. İlerleme miktarı, f (mm/dev)
4. Talaş derinliği, a (mm)
5. Kesme açıları, ($\alpha, \beta, \gamma, \chi, \varepsilon, \lambda$)
6. Kesme kuvvetleri, (F_C , F_F , F_R)
7. Kesme gücü, P_C
8. İşleme sıvısı, *Ss*
9. Takım /iş parçası malzeme çifti, $TM_ç$
10. Takım burun yarıçapı, r (mm)

Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrüdür. Bu da kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesitli ilişkileri öncelik arz etmektedir (Akkuş 2010).



Şekil 4.7. Talaş kaldırmaya etki eden faktörler (Akkuş 2010)

4.3.1. Takım ömrü

Takım ömrü, pratik olarak takımın iki bileme arasındaki geçen zaman olarak tanımlanabilir. Takım ömrü esas itibari ile aşınma olayına bağlı olduğundan aşınmaya etki eden takım malzemesi ve iş malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörler takım ömrünü de etkilemektedir. Ancak bunlardan en önemlisi kesme hızıdır. Kesme işleminin optimizasyonu için kesme hızı ile takım ömrü arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Bununla ilgili ilk çalışma ‘’TAYLOR’’ tarafından gerçekleştirilmiş olup denklem (4.3)’deki formülle ifade edilmiştir.

$$V.T^n = C = \text{sabit} \tag{4.3}$$

V= Kesme hızı (m/dak)
T= Takım ömrü (dak)
n= takım üssü

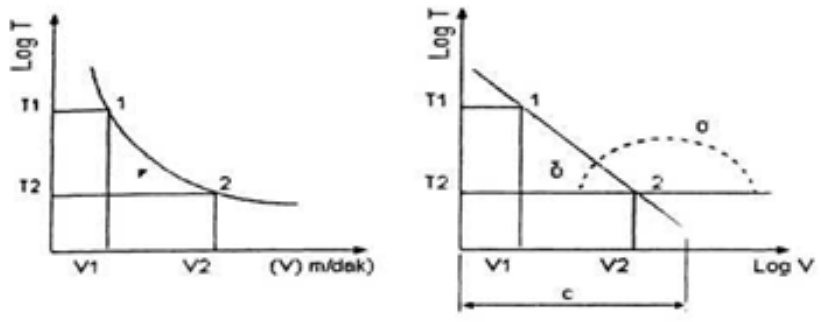
Bu ifade açılırsa;

$\log C - \log V + n \log T$

$V_1.T_1^n = V_2 .T_2^n$

$\log (V_1) + n. \log (T_1) = \log (V_2) + n. \log (T_2)$ bağıntısı elde edilir.

Burada ‘’n’’ değeri takım üssünü göstermekte olup, iş parçası malzemesi ve kesici malzemesine bağlıdır. ‘’C’’ değeri ise, ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesme sıvısı vb. faktörlere bağlıdır (www.serkanaktashoca.com).



Şekil 4.8. Takım ömrü-Kesme hızı arasındaki ilişki (www.serkanaktashoca.com).

4.3.2. Kesme Hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yoldur. Kesme hızı (V) ile ifade edilir ve birimi m/dak.'dır. Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı şu faktörlere bağlıdır:

1) Malzemenin cinsi
2) İlerleme miktarı (mm/dev)
3) Talaş derinliği (mm)
4) Kesici aletin cinsi
5) Soğutma sıvısı
6) Kullanılan işlem türü
7) Tezgahın rijitliği, tipi, gücü ve kapasitesi

Kesme hızı, denklem (4.4)'deki formülle hesaplanabilir;

$$V = \pi.D.N/1000 \quad (4.4)$$

D= Tornalanan çap (mm)
N= Devir sayısı (dev/dak)
V= Kesme hızı (m/dak) dır.

Kesmede genel kural olarak ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, önceki deneylerden de yararlanılarak, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı oldukça düşük seçilirse az parça üretilir. Çok düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak kesme hızı çok yüksekse takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle, herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir (Akkuş 2010).

4.3.3. İlerleme

Kalemin iş parçası eksenine paralel olarak dakika da aldığı yol olarak tanımlanır. İlerleme, denklem (4.5)'daki formülle hesaplanabilir;

$$f = \sqrt{8.r.Rz} \tag{4.5}$$

r : Kalem uç radyüsü (mm)
Rz : Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
f = İlerleme (mm / dev)

İlerleme hızı ise, ilerlemenin devir sayısı ile çarpımıyla bulunur. Bu da denklem (4.6) ile gösterilirse,

$$u = N.f_{(mm/dak)} \tag{4.6}$$

N : Devir sayısı (dev/dak)
u : İlerleme hızı (mm/dak)
f = İlerleme (mm/dev)

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken ilerleme şu faktörlere bağlıdır:

1) Malzemenin cinsi
2) Talaş derinliği (mm)
3) Kesme hızı (m/dak)
4) Tezgahın rijitliği, tipi, gücü ve kapasitesi

4.3.4. Talaş derinliği

Talaş derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü boyutu göstermekte olup takımın iş parçası içine dikey olarak daldığı mesafedir. İlk çapla son çap arasındaki farkın yarısına eşittir. Talaş derinliği genellikle a ile gösterilir, birimi mm'dir. Talaş derinliği denklem (4.7)'deki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$a = \frac{D_1 - D_2}{2} \tag{4.7}$$

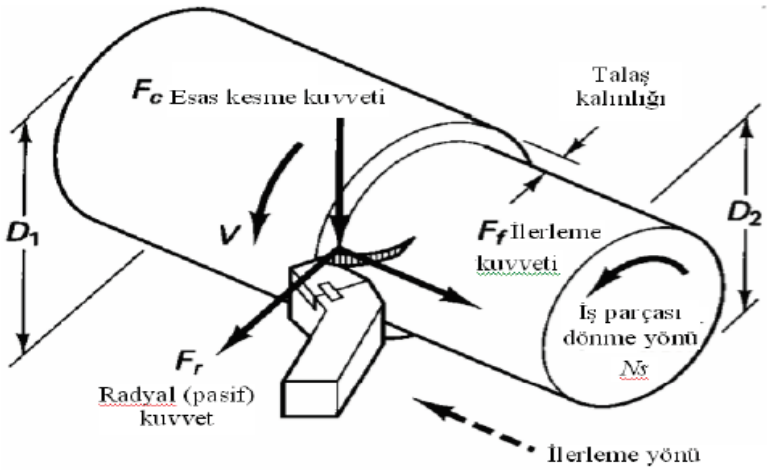
D_1 : İlk çap (mm)

D_2 : Son çap (mm)

4.3.5. Kesme kuvveti

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 4.9' da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri (Çetinçalı 2010)

Kesme kuvveti (F_C) : Kesme hızı yönünde etki eden en büyük kuvvettir. Düşey düzlemde iş parçasını eğmeye ve burmaya çalışır. Metal kesme işleminde gerekli gücün büyük bir kısmını karşılar.

İlerleme kuvveti (F_F) : Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Kesme kuvvetinin yaklaşık yarısı kadardır. ilerleme hızı kesme hızına göre çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmını karşılar.

Radyal kuvvet (Fr): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık yarısı kadardır (Çetinçalı 2010).

Bileşke kuvvet (F) ise, bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanmasıyla bulunur. Bu ifade denklem (4.8)'de gösterilirse;

$$F = \sqrt{Fc2 + Ff2 + Fr2} \tag{4.8}$$

4.3.6. Kesme gücü

Kesme hızı (V) ve kesme kuvveti (F_C), tezgah motorunun verdiği enerji ile sağlanır. Bu enerji tezgahın ana miline kadar ulaşır Bu faktörlere bağlı olarak talaş kaldırmak için gereken kesme gücü (P_C) denklem (4.9)'daki formülle hesaplanır;

$$P_C = F_C.V \tag{4.9}$$

Kinematik sistemin verimi ŋ ile ifade edilirse, tezgah motorunun gücü P_M denklem (4.10) ile hesaplanır (Yeyen 2006) ;

$$P_M = P_C / ŋ \tag{4.10}$$

4.3.7. Takım malzemesi ve iş parçası malzemesi

İşlenecek olan iş parçasının malzemesi ve iş parçasını işleyecek olan kesici takım malzemesi birbiri ile uyumlu olmalıdır. Uygun bir kesme işlemi için malzeme çiftinin çok iyi seçilmesi gerekir. Bu durum için ISO bir standart getirmiştir. Bilindiği gibi iş parçası malzemeleri kullanım yerlerine göre değişik kimyasal kompozisyona sahip malzemelerden üretilmektedir. Bu malzeme gruplarını şu şekilde sıralayabiliriz: Genel amaçlı çelikler, paslanmaz çelikler, dökme demirler, alüminyum alaşımları, süper alaşımlar ve sertleştirilmiş çelikler. Her malzeme grubunun kullanım yeri farklıdır. Bu malzemeleri işlemek içinde farklı kimyasal kompozisyonlara sahip kesici takım malzemeleri üretilmiştir.

Malzeme çiftinin uygun olarak seçilebilmesi için ISO malzeme gruplarını renklendirerek ve harflendirilip standart haline getirmiştir.

P Serisi: Çelikler
M Serisi: Paslanmaz çelikler
K Serisi: Dökme demirler
N Serisi: Alüminyum alaşımları
S Serisi: Süper alaşımlar
H Serisi: Sertleştirilmiş çelikler

Talaş kaldırma miktarına etki eden önemli faktörlerden birisi de kesici takım çeşididir. Kesici takım, iş parçasından talaş kaldırmak için kullanılır. Kesme işlemi tek noktadan veya çok noktadan takımlarla olabilir. Tek noktalı takımlar genellikle tornalamada, şekillendirmede, düzleştirmede ve benzer operasyonlarda uygulanır. Çok noktalı takımlar ise, freze ve delme takımlarıdır (Hansda 2011).

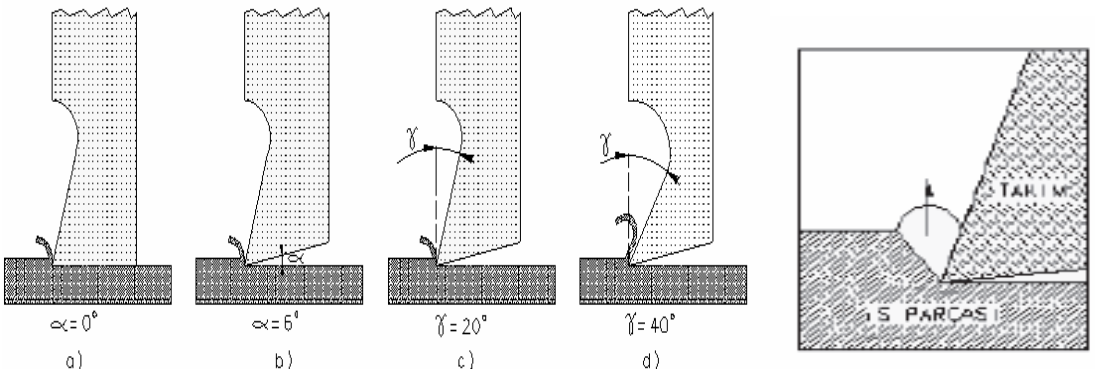
Bir kesici ucun kalitesi belirtilirken P10, M30, K50 gibi ifadeler kullanılır. Burada ifadenin başındaki harf kesici ucun hangi malzemelerde kullanılabildiğini gösterir. Yanındaki sayıda kesici ucun sertlik veya tokluk değerini bildirir. Bu sayılar 05, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 olarak sıralanır. Sayı küçüldükçe kesici ucun sertliğinin arttığı tokluğunun azaldığı anlamına gelir. Sayı büyüdükçe kesici ucun tokluğunun arttığı sertliğinin azaldığı durumu anlaşılır. Kesici uç mümkün olduğunca sert aynı zamanda tok olmalıdır. O yüzden kullanılan kesici takımların sayıları, çok küçük veya çok yüksek olmamalıdır (www.serkanaktashoca.com).

Bir diğer faktör; kesme operasyonunun maliyetidir. Herhangi bir kesme operasyonunun maliyet analizi yapıldığı zaman doğru bir maliyet elde etmek için birçok faktör düşünülmelidir. Geleneksel kesici takımın maliyeti çok düşük olabilir fakat kullanılan takımın maliyeti çok yüksek olabilir. Bir kesici takımın ekonomik olup olmadığını anlamak için, toplam işleme maliyeti denklemi için iki faktör dikkate alınmalıdır. Bunlar ise kesici takım kullanım maliyeti ve kesici takımın fiyatıdır. Bir kesici takım bir diğerlerden daha pahalı olsa da bu kesici malzemeden daha çabuk talaş kaldırır ve her parçada daha az takım maliyeti oluşursa uzun periyotlu kesme işlemi süresinde kesici daha ekonomik olabilir (Akkuş 2010).

4.3.8. Takım geometrisi

Takım geometrisini, kayma açısı (ϕ), serbest açı (α), kama açısı (β) ve talaş açısı (γ) gibi açılar ve takım ucunun "r" yuvarlatma yarıçapı gibi faktörler tayin eder. Bunların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığı da değiştiği için önemlidir.

Talaş açısı (γ), talaşın parçadan uzaklaşmasını; kama açısı (β), takımın parçaya nüfuz etmesini, serbest açı ise (α), takımın işlenen yüzeye sürtünmemesini sağlar. Kama açısının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır. Serbest açı, kama açısı ve talaş açıları toplamı 90^o ise, kesici takımın kesme kenarı, takımın hareket yönüne dik olduğundan dolayı bu kesme işlemine dik kesme işlemi adı verilir. Eğer kesici takımın kesme kenarı, takımın hareket yönüne dik değilse ve λ gibi bir meyilli açı veriliyorsa bu tür kesme işlemi eğik kesme işlemi olarak tanımlanır. Pratik atölye uygulamalarında çoğu kez bu tip kesme işlemi uygulanır çünkü kesicideki meyil açısı değiştirilirse talaş açısı değişmektedir. Meyil açısı kesme esnasında şu faktörlere etki eder: Takım ömrü, yüzey kalitesi, kesme kuvveti olarak özetlenebilir. Kesici takım ucunun, işlenen parçasına göre durumu ve kesme şartları, kesme açıları ve meyil açısı ile birlikte tamamen belli olur. Yukarıda bahsedilen kesme açılarının uygun değerleri şu kriterlere bağlı olarak: takım ömrü, işlenen yüzey kalitesi, kesme kuvvetlerinin düşüklüğü ve güç sarfiyatı vb. talaş kaldırma deneyleri ile belirlenir (Yeyen 2006).

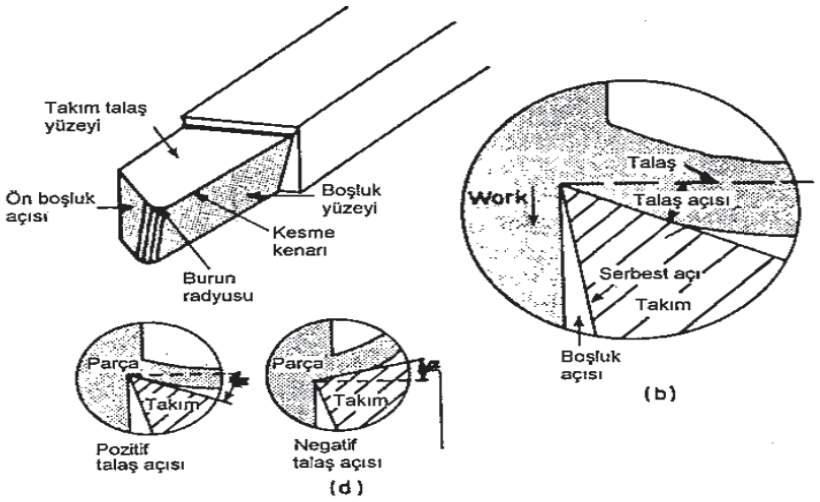


Şekil 4.10. Takım açılarının etkisi (Yeyen 2006)

Genellikle α açısı, takım ve parça malzemesine bağlı olarak genelde 3° ila 7° arasında seçilir. Esas itibariyle;

• Talaş açısı (γ) küçük ve kama açısı (β) büyük (Şekil 4.10.c) ise; takımın ucu kötü olduğundan malzemenin işlenmesi zorlaşır. Isı oluşumu artar, kesme kuvvetleri büyür ve takım ömrü azalır. Fakat takım kuvvetlere karşı daha dayanıklı olur. İş parçasıyla takım yan boşluk yüzeyi arasında talaşın sıkışma riski ortaya çıkar.

• Talaş açısı (γ) büyük ve kama açısı (β) küçük (Şekil 4.10.d) ise; takım ucu ince olduğundan malzemenin işlenmesi daha kolaylaşır. Daha düşük kesme kuvvetleriyle işleme yapılabilir, talaş kolaylıkla akar ve takım daha büyük kesme hızlarında kullanılabilir. Ancak uç ince olduğu için takımın kuvvetlere karşı mukavemeti azalır ve kırılma olasılığı yükselir.



Şekil 4.11. Kesici takım terminolojisi ve takım geometrisi (Akkuş 2010)

4.3.9. Takım uç yarıçapının etkisi (r)

Kesme işleminde takım uç radyüsünün etkisi büyüktür. Kesme işleminin uygun olması için takım uç radyüsünü çok iyi seçmek gerekir. Ancak takım uç yarıçapı en az talaş derinliğini gösterdiğinden dolayı optimize edilmesi gerekir. Gereğinden fazla büyük seçilen radyüs, kesme kuvvetini artıracağından kesici uçta sürtünme meydana gelebilir. Bu sürtünmeden dolayı da kötü bir yüzey kalitesi ortaya çıkar. Ayrıca takım ucunda ısı oluşumu artar. Böylelikle takım aşınması fazla olur. Küçük bir radyüs seçilirse, bu seferde fazla talaş derinliği verilemez, takım sadece kazıma işlemi

yapacağından yine takım hızla körelebilir ve böylelikle ucun kırılmasına ve çok çabuk aşınmasına neden olur.

4.3.10. Soğutma sıvısının etkisi

Kesme sırasında yapılan işin %95'i ısıya dönüşür. Isınmanın %75'i plastik deformasyon ve %25'i sürtünmeyle meydana gelir. Oluşan bu ısı iş parçası, kesici takım ve talaşın üzerine birikir. Takım / talaş ara yüzeyinde oluşan bu ısı; iş parçası, takım veya talaşla dışarı çıkmalıdır. Soğutma sıvısı kullanılması durumunda, talaş ve takım ara yüzeyinde oluşan ısının taşınması veya atılması daha kolay gerçekleşir. Soğutma sıvısının kesme sırasında temel olarak 3 türlü görevi vardır:

1. Oluşan talaşı en kısa sürede iş parçasından ve kesici takımdan uzaklaştırmak,
2. Kesici takım ve iş parçasının soğutulmasını sağlamak
3. Yağlamayı sağlayarak kesme işlemini kolaylaştırmak

Ayrıca kesme sıcaklığı azaltıp, takım ömrünü artırır. Daha iyi yüzey kalitesi elde edilir. Tezgah ve iş parçasını korozyon, pas ve oksitlenmeye karşı korur. İş parçasının operatör tarafından daha iyi görülmesini sağlar. Ancak bütün kesme işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılmaz. Özellikle sert ve gevrek malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takım malzemeleri ısıl şoklara dayanamadığından bu kesicilerle kesme yapılırken soğutma sıvısı kullanılmaz. Bu durumda talaşın ortamdan uzaklaştırılması için basınçlı hava kullanılır (Akkuş 2010).

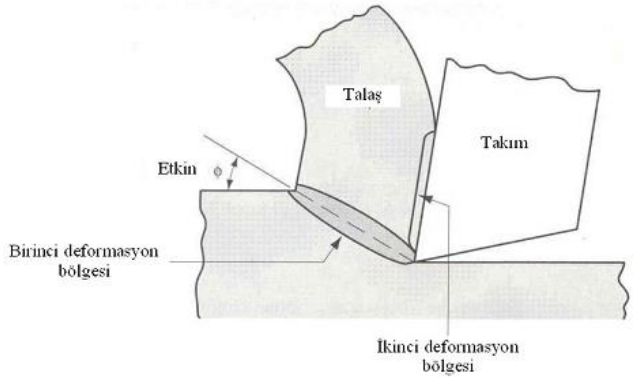
4.4. Talaşlı imalat işleminde ısı ve sıcaklık oluşumu

İş parçasından talaş kaldırma sırasında oluşan ısı, kaldırılacak tabakanın iş parçasından ayrılması için gereken enerjiden, takım ile talaş arasındaki sürtünmeden ve takım ile işlenmiş yüzey arasındaki sürtünmeden meydana gelmektedir. Ortaya çıkan ısının bir bölümü, kaldırılan talaş ile birlikte dışarıya atılır. Geriye kalan bölümü ise parçaya ve takıma geçer. Bu etkenlerin her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı; iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir (Yeyen 2006).

Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar, bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır. Ayrıca, aşırı sıcaklık, kısa takım ömrü ve kesme hızını sınırlandırmanın ana sebebidir.

Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, büyük bir oranda yüksek sıcaklık etkilerine dayanabilmeleri etrafında odaklanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık, büyük oranda takım ile talaş arasındaki temasa, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durumda düşük kesme hızları iş parçasına iletilen ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırabilir (Çetinçalı 2010).

Yüksek kesme hızları, enerjinin çoğunun talaşla atılmasını ve kesici takım ve iş parçasına az miktarda ısı iletilmesini sağlar. Metal kesme işleminde oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden ideal olarak talaşla uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, kesici takımı, talaş ve takım arasında temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğu kayma bölgesinden kaynaklanır ve bu nedenle takım ve talaş arasındaki temasın ölçüsü performansını etkiler. Küçük talaş açılarından kaynaklanabilen küçük kayma açıları, iş parçasına iletilen ısı miktarını artırabilir (Çetinçalı 2010).



Şekil 4.12. Kesme bölgesinde ısı oluşumu (Sullıvan 2001)

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç, (P_C) ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler (Sullıvan 2001).

- Kayma düzlemi (1.deformasyon bölgesi) ; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşta kalır. %80-85 civarı ısı bu düzlemde oluşur.

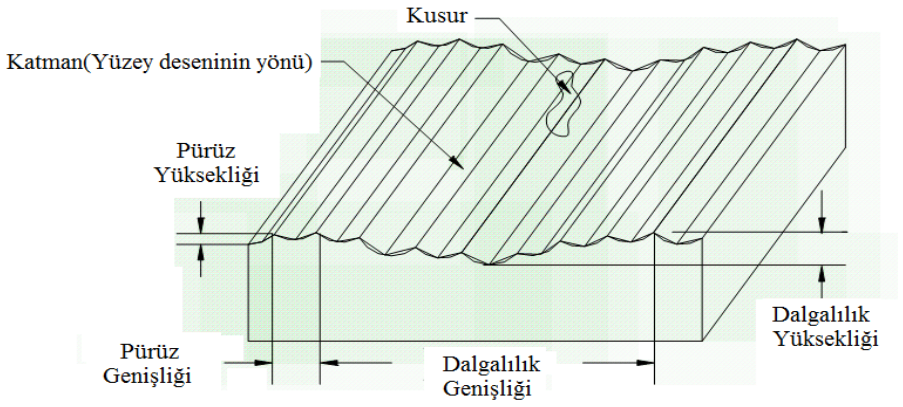
- Takım-talaş ara yüzeyi temas (2.deformasyon) bölgesi; burada ilave olarak plastik deformasyon gözlenir ve kayma hareketinden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir. % 15-20 civarı ısı, takım talaş ara yüzeyinde meydana gelir.
- Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme, yan yüzey aşınması ile artar. %1-3 civarında ısı oluşumu görülür (Yash 2013, Kalhori 2001).

4.5. Talaşlı imalat işleminde yüzey pürüzlülüğü

Pürüz yüksekliği için ortalama yükseklik, yüzey yapısında başrolü oynar. Fakat yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmeye yetmez. Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için önce "yüzey yapısı" ve "yüzey pürüzlülüğü" terimiyle ne kastedilmek istendiğini anlamak gereklidir (Dourandish 2008).

4.5.1. Yüzey yapısı

Bir yüzey yapısının kontrolünde yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma önemli faktörlerdir. İşlenen yüzeylerde dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tip yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder. Yüzey pürüzlülüğü standartlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde, pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler anlatılmak istenir. Doğrultu, yüzey pürüzlerinin referans alınan bir alın yüzeyine göre durumunu belirler. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişir (Akkuş 2010).



Şekil 4.13. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri (Akkuş 2010)

4.5.2. Pürüzlülük

İşleyici bir takımın, yüzeyin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarıdır. Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında pürüzlülük değeri; seçilen yönteme, kesici cinsine ve işleme şartlarına ve fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici-iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisine bağlıdır. Yüzeydeki çizik izlerini normal yönde ölçme ile çapraz yönde (açılı kesik çizgi) ölçme arasında dalga boyu uzunluğu açısından fark vardır. Yüzey pürüzlülüğü düzensiz dalga boyu uzunlukları olarak dağılmışsa, yüzey aşırı yüklenmiş demektir. Bu tür bir oluşum dalgalanma olarak adlandırılır. Dalgalanma, yüzeyin taşlanması esnasında, taşlama taşının eksik kısımlarından, işlemeyi yapan takımın bağlantı karterinin titreşiminden ve ısıl işlemlerden meydana gelebilir. Yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ve matematiksel büyüklüklere (parametrelere) çevrilmesi için pürüzlülük değerinin ölçülmesi gerekir. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazları yüzeyin profilini grafik olarak çizerler. Yüzeyin uzun dalga boylarında olması, yüzey pürüzlülüğü ölçme parametre değerini etkiler. Bu nedenle çok uzun dalga boylarının etkisi önlenmelidir. Pürüzlülük ölçümünün doğru ve hassas yapılması ile aynı zamanda hangi pürüzlülük parametrelerinin kullanılacağının doğru tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi büyük önem taşır (Akkuş 2010).

İşlenmiş yüzeylerde, kullanılan iş malzemesi ve işleme metodu ne olursa olsun (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) yüzey pürüzlülüğünün meydana gelmesi kaçınılmazdır. İşlenen malzemelerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, endüstride çok büyük önem teşkil etmektedir. Üretici firmalar imalat sektöründeki ticari paydan

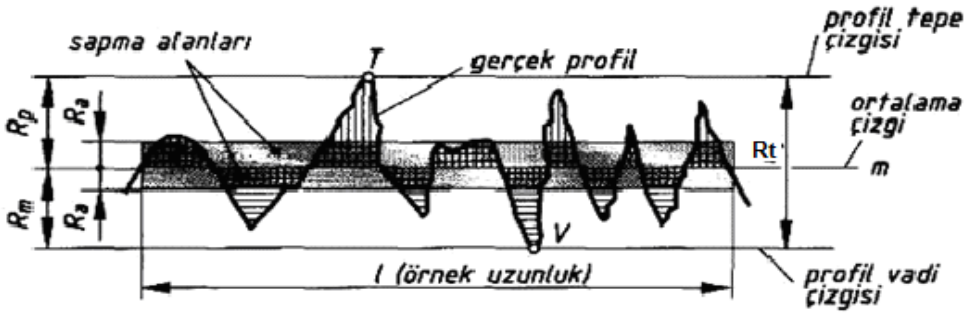
mümkün olduğu kadar fazla pay alabilmek için bu alanda çok büyük yatırımlarla araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmaktadırlar. Yaklaşık bir asırdan beri yüzey pürüzlülüğünü konu alan, birçok bilimsel çalışma ortaya konmuş ve bu eserlerde yüzey pürüzlülüğüne neden olan ve yüzey pürüzlülüğünü arttıran veya azaltan faktörler tespit edilmeye çalışılmıştır. Son yarım yüzyılda yapılan çalışmalar ise, daha önceden yapılmış bilimsel çalışmalar ışığında, yüzey pürüzlülüğünü en aza indirme çalışmaları olmuştur (Çetinçalı 2010).

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları şunlardır:

1. Takım tezgahlarının yeterli rijitlikte olmaması,
2. İşlenen malzemede bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
3. Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
4. İlerleme hızındaki düzensizlikler,
5. İşlenen malzemenin yapısal bozukluğu,
6. İşlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
7. Tezgahın kinematik mekanizması,
8. Yataklama dolayı meydana gelen tezgah hataları,
9. Takım ucu ve takım tutucunun rijit olmaması
10. Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
11. Takım konumlama ve bağlama hataları,
12. Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
13. İşlenmiş malzemeden talaş kaldırma şekli,
14. Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir (Işık, Çakır 2001).

4.5.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler

Bu amaç için kullanılan parametreler aşağıda olduğu gibi gösterilir ve adlandırılırlar:



Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülük profili (Akkuş 2010)

R_a : Aritmetik ortalama sapma

R_Z : En yüksek ve en alçak noktaların ortalaması

R_t,R_{max} : Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı

R_q : Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir.

Örnekleme uzunluk (l: mm): Örnek uzunluk yüzey pürüzlülüğünün değerlenmesinde alınan etken uzunluktur.

Profil ortalama çizgisi (M): Profil ortalama çizgisi etken profilin alt ve üst sınır noktalarının ortasından paralel geçen çizgidir. Bu çizgi, alt ve üst alanları eşit yapacak şekilde geçmelidir.

Geometrik profil alt sınır çizgisi: Geometrik profil alt sınır çizgisi etken profilin alt sınırından geçen ve profile (V) noktasından değen çizgidir.

Geometrik profil üst sınır çizgisi: Geometrik profilin üst sınır çizgisi etken profilin üst sınırında geçen ve profile (T) noktasından değen çizgidir.

Profil maksimum dip derinliği (R_m): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

Profil maksimum üst derinliği (R_p): Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en üst girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir.

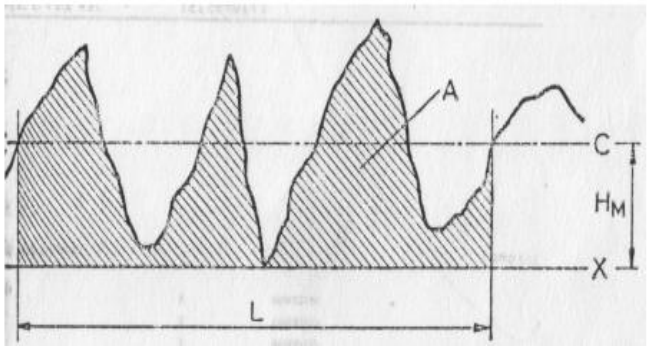
4.5.3.1. Aritmetik ortalama sapma (Ortalama pürüzlülük değeri, R_a)

Bu ifade BSJ standardında merkez ekseni ortalama yüksekliği olarak tarif edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçen cihazlardan direkt olarak okunabilir. Bir yüzeyin Ra değeri grafik olarak okunabilir. Bir yüzeyin Ra değeri grafik olarak şu yollar takip edilerek belirlenebilir;

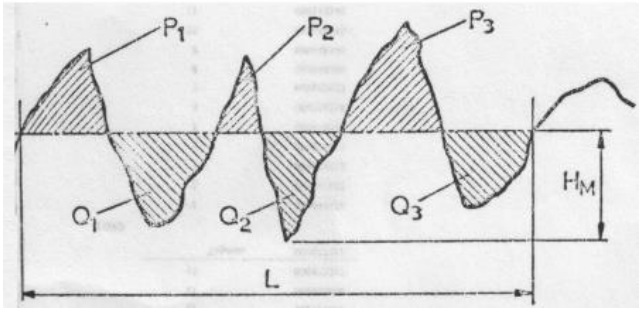
Tablo 4.1. ISO tarafından Ra değerinin simgelenmesi (Akkuş 2010)

Pürüzlülük Derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R_a (µm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
Simge	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		



Şekil 4.15. H_M değerinin belirlenmesi (w3.balikesir.edu.tr)

1. Önce yüzeyin en alt (dip) tarafına değecek şekilde düz bir (x-x) ekseni çekilir.
2. Tam sayıda dalga boyu uzunluğuna sahip olacak şekilde bir (L) uzunluğu seçilir.
3. Planimetre kullanılarak eğri altındaki çizili (A) alanı bulunur. Daha sonra Hm=A/L hesaplanır. Ve (C-C) ekseni çizilir.



Şekil 4.16. Alanlarla Ra değerinin gösterimi (w3.balikesir.edu.tr)

4. (Hm) yüksekliğindeki eksen çizildikten sonra eksen üzerinde (P1+ P2+ P3+.....vs) ve eksen altında (Q1+ Q2+ Q3+.....vs) ki alanların toplamı (L) uzunluğuna bölünüp (1000/Vq) ile çarpılır, denklem (4.11) ile gösterilirse;

$$Ra\,(\mu m) = \left(\frac{P_{alanı} + Q_{alanı}}{L} \right) . \frac{1000}{Vq} \qquad (4.11)$$

Burada;

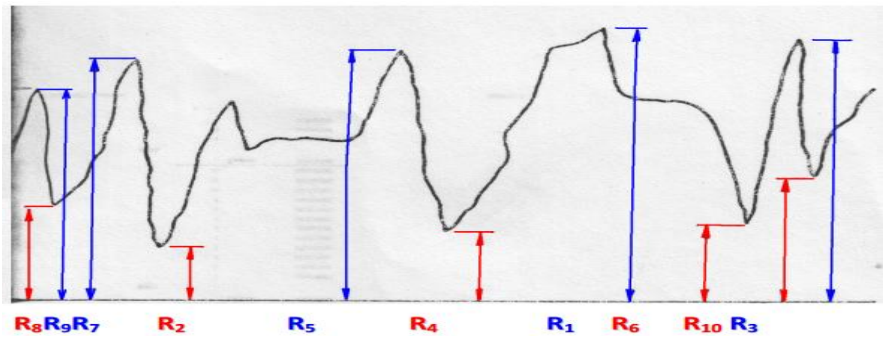
P ve Q alanları (mm^2), L uzunluğu (mm) olarak alınır.

Vq: Düşey büyültme değeridir.

Yatay büyültme: P; Q alanlarında ve (L) uzunluklarında gözlenir. Fakat yatay büyültme açık olarak denklem içinde görülmez.

4.5.3.2. Yüzey bozukluğunun on noktasının yüksekliği (Ortalama pürüz yüksekliği, Rz)

Bu parametrenin bulunuşunun gösterimi (R_a)'nın gösteriminden daha kolaydır. Önce profile, bir paralel eksen çizilir. Bu profilden sırayla 5 en dip nokta uzaklıklar ölçülür. Uluslararası Standart Organizasyonuna (ISO) göre bu parametre, profil değerlendirme boyunca en yüksek beş tepe ve en düşük beş çukurun ortalamasının yükseklik farkı olarak tanımlanır. Ortalama değer;



Şekil 4.17. On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması ($R_{Z(ISO)}$) (w3.balikesir.edu.tr)

R_Z ifadesinin formülsel ifadesi denklem (4.12)'de verilmiştir:

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \tag{4.12}$$

4.5.3.3. Pürüzlülük yüksekliği (R_t, R_{max})

Pürüz yüksekliği örnek uzunluk içinde profil üst sınır çizgisi (T) ile alt sınır çizgisi (V) altındaki mesafedir.

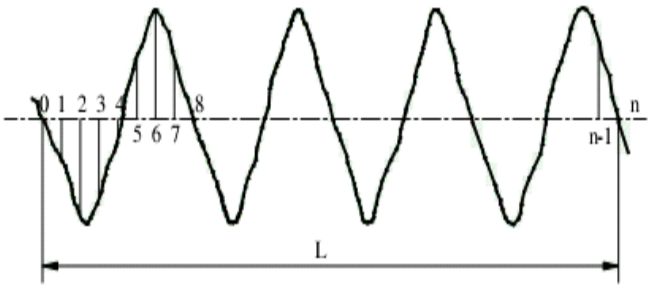
Tornalama işlemi için R_t değeri denklem (4.13)'deki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \tag{4.13}$$

Burada f değeri ilerleme hızı (mm/dev) ve r değeri de takım uç yarıçapını (mm) ifade etmektedir.

4.5.3.4 Ortalamaların kareleri toplamının karekökü (Rq)

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir.



Şekil 4.18. Ordinatlarla R_q değerinin gösterimi (Akkuş 2010)

R_q değeri denklem (4.14)'deki formülle hesaplanabilir:

$$R_q = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + ... + h_n^2}{n}} \tag{4.14}$$

4.5.4. Yüzey pürüzlülük ölçen cihazlar ve teknikleri

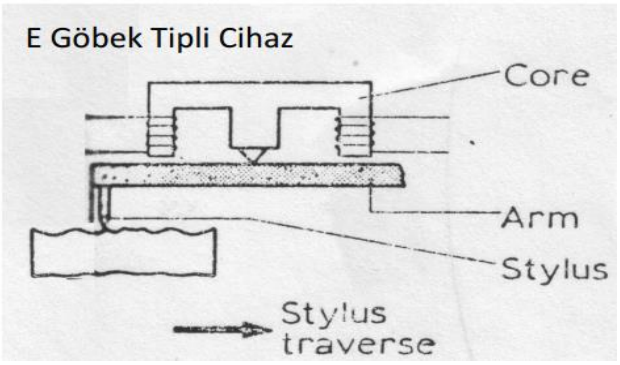
Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla pek çok cihaz ve teknik kullanılır. Mühendislik açısından en önemlileri şunlardır:

1. Elektriksel çalışan sivri uçlu cihazlar
2. Dokunarak yüzeyin değerlendirildiği ve bu durumun mekanik olarak çalışan cihazlarla ölçülmesi
3. Değişik tipli ışık interferans mikroskopları
4. Yüzey kopyaları elde etme

4.5.4.1. Elektriksel sivri uçlu cihazlar

Bu cihazlar bir kola sahiptirler. Kolun üzerine elmas bir uç yerleştirilmiştir. Bu uç, numune yüzeyini baştan başa çizer. Ucun düşey hareketi elektriksel sinyallerle gösterge veya yazıcıya iletilir.

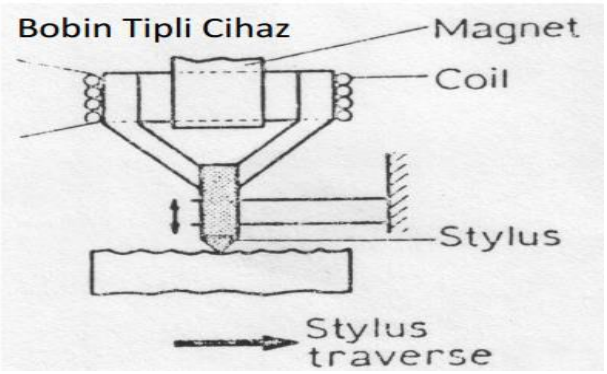
4.5.4.1.1. Göbek tipli cihaz



Şekil 4.19. Göbek tipli cihaz (w3.balikesir.edu.tr)

Şekilde mıknatısın iki kutbu arasına yerleştirilen bir göbeğin ucundaki kolun düşey hareketi ile (E) göbeğinin uçlarındaki aralık değişir. Bu değişme elektrik sinyallerinin amplitüd (şiddetini) azaltır veya çoğaltır. Bu sinyaller bir ara durum elemanı ile gerekirse büyültülür. Bir filtrasyon sistemi geliştirilerek lineer düzgün bir record etme (yazdırma) işlemi sağlanmış olur.

4.5.4.1.2. Bobin tipli cihaz

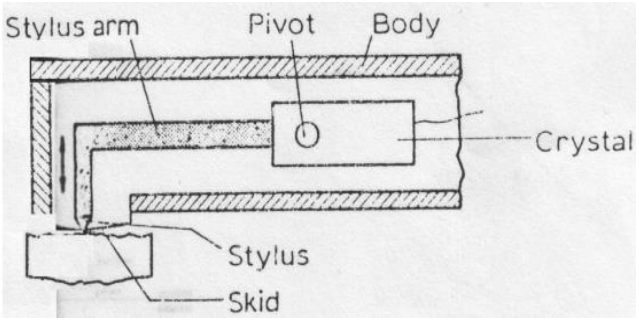


Şekil 4.20. Bobin tipli cihaz (w3.balikesir.edu.tr)

Şekilde bobin tipli bir cihaz görülmektedir. Bobin elmas uç üzerine yerleştirilir. Bobin arasına konan mıknatısla düşey yönde manyetik alan sağlanmış olunur. Bobin uçlu beraber aşağı yukarı iner. Elmas ucun düşey hareketiyle manyetik alan değişir. Bu manyetik alan yüzeyin amplitüd ve dalga boyu ile orantılıdır. Veya elmas ucun

hareketinin frekansı ile orantılıdır. Cihazın çalışma alanı içinde frekans hassas olmayabilir. Bir (R_c) düzeltme devresi konarak istenmeyen frekanslar ayrılır. (Not; Bobin içindeki mıknatıslı parça, bobinin manyetik akısını kuvvetlendirir.)

4.5.4.1.3. Piezoelektrik kristalli cihaz

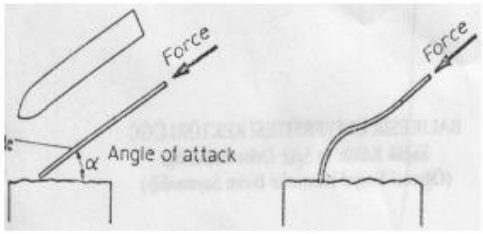


Şekil 4.21. Piezoelektrik kristalli cihaz (w3.balikesir.edu.tr)

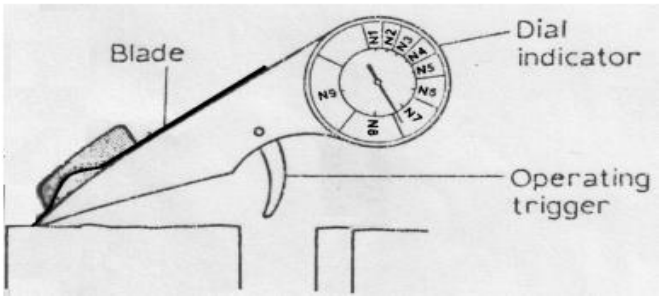
Şekilde ise, bir piezoelektrikli cihaz gösterilmiştir. Piezoelektrik elemanı; üzerine bir kuvvet uygulandığında, gerilim doğurur. Elmas uç kolu kristale pimlenir. Elmas uç, yüzeye üzerinde kayan bir altlıkla değer. Ucun düşey hareketiyle doğan gerilim sinyal olarak alınır ve gösterge veya recorder'e verilir. Gerilim değişimi bu değişim kalibre edilerek yüzey pürüzlülüğü ölçülür. Çukura az kuvvet uygulanır. Tepeye maksimum kuvvet uygulanır.

4.5.4.2. Dokunarak yüzey değerlendirme ve mekanik olarak çalışan cihazlar

Bu yöntemin esası kıyaslamaya dayanır. Yüzey boyunca tırnakla kontrol yapılabilir. Kıyaslama için (N) serilerinde pürüzlülük değerleri belirtilmiş test blokları kullanılır. Dokunarak yüzeyin değerlendirilmesinde yüzeyin sürtünme özellikleri esas alınır. Dönel yüzeylerin dokunarak değerlendirilmesinde farklılıklar artacağından kontrol için elektriksel sivri elmas uçlu cihazlarda (Ra) kontrolü yapılmalıdır. Bu cihazlarla taşlanmış, leplenmiş, eğelenmiş, zımparalanmış yüzeylere uygulanırlar. (Ra) değerleri N serileri karşılığı olarak okunur (w3.balikesir.edu.tr).



1.Yüzey pürüzlülüğüne ve 2.İtme açısı (α)

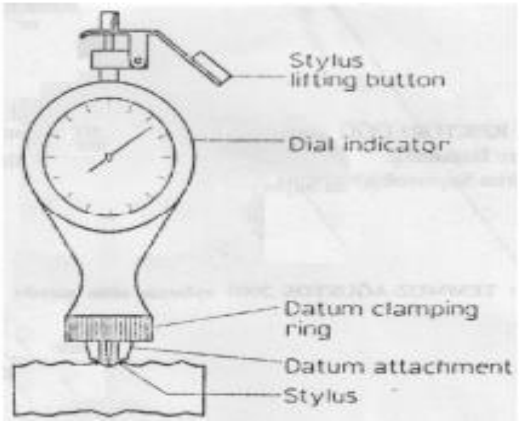


Şekil 4.22. Cihazın çalışma prensibi (w3.balikesir.edu.tr)

İnce metalik kanatçık yüzeyi değerlendirilecek yere sürüldüğü zaman hem kayacak hem de iki faktöre bağlı olarak eğilip bükülecektir. Kritik açılar altındaki açılarda kanatçık yüzey boyunca hafifçe kayar. Açı arttıkça şekildeki gibi kanatçık eğilmeye başlayacaktır. Çok düzgün yüzeylerde kritik (α) açısı büyüktür. Bu açı pürüzlülük değerinin bir fonksiyonudur. Şekilde cihazın asıl şekli görülmesidir. Yüzeye sürülen kanatçık, şeffaf örtü içinden gözlenir. Kritik açıya erişildiğinde göstergedeki ibre ile yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) N serileri ile belirtilir. Cihazın kalibresi (Ra) değerleri 0,1 ve 0,4 μm' lik sertleştirilmiş test blokları üzerinde yapılır.

4.5.4.2.1. Kadranlı derinlik cihazı

Kaba pürüzlülük terimi (Rz), (Ra) aritmetik ortalama değerinin 5,0 μm'nin üzerindeki değerleri için tanımlamak gerekir. Elektriksel ölçü cihazlarının çoğu bu değerin altındaki değerlerde dolaşırlar. Derinlik cihazı, tornalanmış, frezelenmiş kumda kalıptan çıkmış parçalar, v.s için geliştirilmiştir. Bu yüzeylerde (Rz) parametresi (Ra) parametresinden daha önem kazanır. Cihazın avantajı, grafik çizmeye ihtiyaç duymadan hızlı ölçme yapabilmesidir.



Şekil 4.23. Kadranlı derinlik cihazı (w3.balikesir.edu.tr)

Cihaz içinde çubuk (mil) bulunan, bir gösterge kadranından ibarettir. Elmas uç, yüzeyin silindirik veya düz olmasına bağlı olarak iki veya üç noktadan sabitlenebilir.

Cihaz önce standart bir blok üzerinde sıfırlanır. Sonra ölçülecek yüzeye bastırılarak yüzeyin çukura girmesi sağlanır. Daha sonra uç iyice sıkıştırılarak okuma yapılır. Bu işlem en az 4 noktada tekrarlanır. Ortalaması (Rz) değerine eşit olur. Ra değeri de Rz değerinin dörtte biridir. Tolerans %15 civarındadır.

4.5.4.3. Işık interferans mikroskopları ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Düz ve eğimli yüzeyler üzerinde gölge hasıl etme tekniğinin optik sisteminde uygun bir düzeltme yapılarak yüzey pürüzlülüğü ölçümünde de kullanmak mümkündür. Interferans gölge bantları sadece incelenen yüzey alanında görülür. Gölgenin sürekli her bakılan yüzeyde görülebilmesi için kamera, büyültmeyi sağlayan çok pahalı ve masraflı dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Bu cihazlar yüksek kararlılığa sahip cihazlardır. Bu cihazlarla genişliği 0,5 μm olan çizim aralıkları kolaylıkla görülür. Elektriksel sivri uçlu cihazlarda kararlılık (2,5) μm'nin altına düşer. Işık interferans gölgeleri önce mastar üzerinde görülür. Daha sonra ölçülen yüzeyin gölgeleri kıyaslanır. Küresel rulmanlı yatakların yüzey pürüzlülüğü bu metotla kontrol edilir (w3.balikesir.edu.tr).

Bu yöntemin avantajları;

a. İncelenen kısımda yüzey karışık bile olsa detaylı görüntü elde edilir.
b. Metot tahribatsızdır, yüzeyle direkt teması yoktur.
c. Cihaz tekrar kalibre istemez.

4.5.4.4. Yüzey kopyalama ile yüzey değerlendirme

Bu yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu, parça çok büyük, yüzey cihaza sığmıyorsa düşünülür. Bu yöntemin esası, yüzey üzerine yumuşatılma plastik parça basmak, numune çevresine duvar örerek veya bir halka geçirilerek sıvı plastiği dökmektir. Daha sonra uygun bir zaman sonra dökülen plastik kaldırılır. Yumuşatılmış plastikle %80, sıvı plastik dökme ile %100 doğruluk elde edilir.

4.6. Titreşim

Titreşim, hızlı salınım hareketi, bir ritimle tekrarlanan sarsıntı veya bir sesin modülasyonudur. Titreşim olayında frekanstan söz edilir. Frekans, periyodik bir dalga hareketinin, belli bir aralıkta kaç kez tekrarlandığını ölçen büyüklüktür. Titreşim frekans Hertz (Hz) ile ölçülür ve 1/s olarak ifade edilir.

4.6.1 Titreşimin sınıflandırılması

Titreşimleri, sönümlü titreşimler ve sönümsüz titreşimler olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Titreşim bir süre sonra sona eriyorsa sönümlüdür. Örneğin; çekilip bırakılan çelik bir telin titreşimi sönümlüdür. Otoların titreşimi gibi titreşimler, yay ve amortisör tarafından yutulduğu için sönümlüdür. Titreşim sürekli ise, sönümsüzdür ki o durumda titreşimin bir kuvvetle veya mekanik hareketle desteklenmesi gerekir. Talaş kaldırmada iki tür titreşim meydana gelir. Bunlar;

1. Kendiliğinden oluşan titreşimler
2. Zorlanmış titreşimler olarak iki şekilde inceleyebiliriz.

Zorlanmış titreşim, değişen bir kuvvet veya hareket bir mekanik sisteme uygulandığında meydana gelir. Zorlanmış titreşimler:

1. Kesintili talaş kaldırma veya üniform olmayan talaşın kaldırılması durumunda,
2. Balanssız dönen kütlelerin meydana getirdiği atalet kuvvetleri,
3. Hareket ileten mekanizma elemanlarının imalat kuvvetleri ve darbe kuvvetleri nedeniyle oluşur.

Kendiliğinden oluşmuş titreşimler, başlangıç hareketi verilen ve daha sonra serbestçe salınmaya bırakılan sistemlerde meydana gelir. Kendiliğinden doğan titreşimler:

- Sürtünme kuvvetinin değişkenliği,
- Uzama sertleşmesinin ve iş parçası içerisindeki sert noktaların üniformsuzluğu nedeniyle,
- Talaş kesitinde ve takım geometrisinde değişmelere neden olan yığma ağzın kararsızlığı nedeniyle oluşur (Akkuş 2010).

4.6.2. Titreşim testleri

Firmalar, ürünlerinin veya ürünlerini oluşturan parçaların titreşime karşı dayanıklılığını test etmektedirler. Bunu yaparken amaç, ürünün gerçek çalışma ortamında titreşimden nasıl etkilendiğini görebilmek olduğu kadar, nakledilme sırasında (yol testi) olası titreşimlere karşı ne kadar dayanıklı olduğunu görebilmektir. Bu testlerde gerekli olan cihazlar:

1. Kontrol Ünitesi (controller)
2. Güç Yükselticisi (amplifier)
3. Sarsıcı (shaker)
4. Akselerometre (accelerometer)

Kontrol ünitesi, istenen dalga formunun elektriksel olarak üretilmesini sağlamakta ve akselerometreden gelen geri besleme (feedback) titreşim sinyaline bakarak gerçekte oluşan titreşim seviyesini kontrol altında tutmaktadır.

Basit sinüzoidal sinyal üretebilen kontrol cihazları olduğu gibi, bilgisayar tabanlı gelişmiş kontrol sistemleri de bulunmaktadır. Titreşim testlerinde aşağıdaki dalga formları kullanılmaktadır:

1. Sinüs (tek bir frekans ve genlikte)
2. Sinüs taraması (bir frekans bölgesinde genliği sabit tutarak taramak)
3. Rasgele (seçilen alt ve üst frekans arasındaki bölgeyi uyarmak)
4. Şok Testleri
5. Rezonans frekansı (üründe rezonans bölgesinde test yapmak)

Güç yükselticisi, kontrol sisteminde oluşturulan düşük seviyeli sinyali yükseltmek için kullanılmaktadır.

Sarsıcı, güç yükselticisinden gelen elektriksel sinyali, mekanik titreşime dönüştüren silindirik ünitedir. Bu cihazlar performanslarına göre çok çeşitli boyutlarda olabilmektedir. Uygun bir titreşim test sistemini seçebilmek için en azından:

1. Test edilecek nesnenin ağırlığı,
2. Test edilecek objenin sarsıcıya bağlantısı için bir bağlantı parçası olup olmadığı ve ağırlığı,
3. İstenen en yüksek ivmelenme ve sehim seviyesi,
4. Testte kullanılacak dalga formu bilgisine sahip olmak gerekmektedir.

4.6.3 İvmemetre seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar

1. Frekans aralığına,
2. Minimum titreşim genliğine,
3. Maksimum titreşim genliğine,
4. İşleme sıcaklığı aralığı,
5. Çalışacağı çevre (sıvılar, gazlar, kimyasallar) şartlarına,
6. Montaj metoduna,
7. Fiziksel kısıtlamaların neler olduğuna,
8. Gerçek güvenlik sertifikasının bulunup bulunmadığına ivmeölçer seçiminde dikkat edilmelidir.

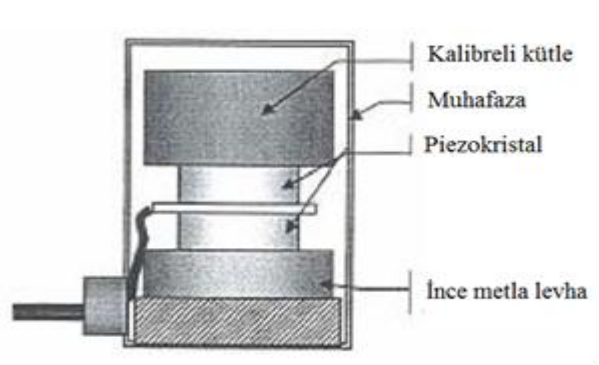
4.6.4. Titreşimin ölçülmesi

Bir sistemin titreşimini ölçebilmek için titreşimin spektrum analizine ihtiyaç vardır. Titreşimin spektrumu bir cisme etki eden kuvvetler sonucunda meydana gelen titreşimin sıfır (0) ile belli bir frekans üst değeri arasında belli bir sayıdaki frekans bileşenlerindeki genlikleri gösteren grafiklerdir. Spektrum analizi spektrumu elde etmek için enerji dönüştürücü dediğimiz ölçüm probuna ihtiyaç vardır. Titreşim ölçüm tipine göre üç farklı sensör kullanılır;

Bunlardan birincisi titreşim yer değiştirme sensörüdür. Bu sensörün uç kısmındaki bobinin oluşturmuş olduğu manyetik alan çizgileri yanındaki rotordan etkilenerek sıkışma ya da gevşeme yapar. Direnç üzerinde akım değişimine neden olan bu durum voltaj değişimi nedeni ile yer değiştirme değerinin ölçülmesini sağlar. Genellikle şaft ile yatak arasındaki değişimlerin ölçüldüğü kaymalı yataklarda kullanılır.

İkincisi ise hızölçer titreşim hız sensörüdür. Bir yay ile tespit edilmiş metalik çubuk etrafını çevrelemiş bobin içerisinde sensörün bulunduğu ortamdaki titreşime bağlı olarak hareket eder. Manyetik alan çizgilerini etkileyen bu çubuğun neden olmuş olduğu akım değişimi titreşim miktarıyla doğrudan ilgilidir. Bu sensör tipi, hareketli parça içerdiğinden sık sık kalibrasyon ihtiyacı doğurur.

Üçüncüsü ve en çok kullanılanı ise ivmeölçer titreşim ivme sensörüdür. İvme sensörünün çalışması şu şekilde açıklanabilir. İki yüksek duyarlılıktaki sismik kütle arasına yerleştirilen piezo-elektrik kristal sismik kütlelerin ortam titreşimine bağlı olarak yapmış olduğu sıkıştırma ile akım üretir. Şekil 4.24'de görüldüğü gibi aralarında ince akım toplayıcı plaka bulunan kristaller, alt taraftan bir şaseye bağlanır; üst tarafı ise, çok hassas bir şekilde ağırlığı bilinen bir parçaya yapıştırılır. Üst taraftaki ağırlık, titreştikçe F=M(Kütle)xa(İvme) prensibine göre kendi kütlesine ve ivmesine bağlı olarak kristali ezer. Bu a ivmesiyle titreşen üst taraftaki ağırlık, kristali ezince F kuvvetine orantılı olan bir akım (I) meydana gelir. Bağıntı kurulacak olursa, ivme (a) oluşan akım (I)'ya orantılıdır. Bu akım, bir dirençten (R)'den geçirilirse, burada oluşacak voltaj mV (milivolt) seviyesinde olur. Bu milivolt seviyesindeki voltajlar ölçüm cihazları tarafından genlikler olarak cihazın ekranında çizgi şeklinde gözükür (Akkuş 2010).



Şekil 4.24. Titreşim ivme sensörü (Akselerometre) iç yapısı (Akkuş 2010)

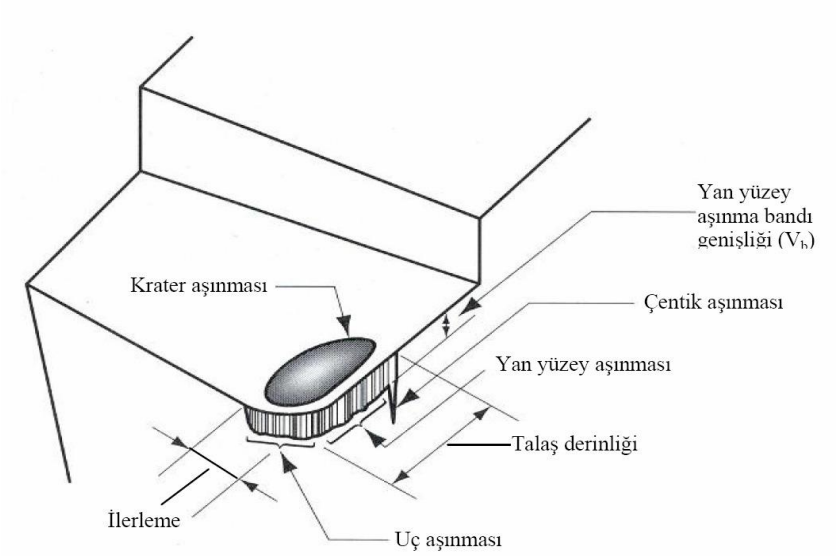
4.7. Aşınma

İş parçasıyla kesici takım arasındaki etkileşimden dolayı temas yüzeyindeki takım malzemenin hacim kaybı olarak tanımlanır ve çoğunlukla takım-talaş arayüzünde oluşan nispi kayma hızı, gerilmeler ve meydana gelen sıcaklıklarla belirlenir. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Kesici takımda aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucu daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici üzerinde daha fazla gerilme oluşturur (Pathade 2013).

Aşınmış kesici takımda, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla, kesici takımın aşınma direnci ve dayanımı azalır. Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalürjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir (Çetinçalı 2010).

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulmasıdır.



Şekil 4.25. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi (Çetinçalı 2010).

İşleme esnasında bir ya da birden fazla aşınma modları meydana gelebilir;

- Yan yüzey aşınması
- Çentik Aşınması
- Krater Aşınması
- Kesici takımdaki kırılmalar
- Kenardaki çatlaklar
- Katastropik başarısızlık (Plastik deformasyon vb.).

Talaş yüzeyindeki aşınma krater aşınması olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzeyde meydana gelen aşınma da "yan yüzey (yanak) aşınması" olarak isimlendirilir. Yan yüzey aşınması, yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması yan yüzey aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Bu aşınmaya da çentik aşınması denir. Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (torna, freze işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılmalar ve çatlaklar meydana gelir. Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takımın geometrisi değişir ve etkinliğini kaybeder. Ayrıca sıcaklığı ve basıncı artar. Plastik deformasyona dirençli olması için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, takımın uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona karşı direnci de artırılabilir (Pathade 2013).

5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ VE KAPLAMALAR

Kesici takımlar, talaş kaldırma işleminde şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirmek için kullanılır. Kesme işlemi, sürekli veya aralıklı olabilir. Sürekli kesme işlemi, genellikle tornalama, şekillendirme, planyalama vb. işlemlerde kullanılır. Aralıklı kesme işlemi de genellikle frezeleme ve matkap işlemlerinde kullanılır (Hansda 2011).

Sürekli kesme işleminde uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken, aralıklı kesme işleminde daha düşük sıcaklık oluşmasına rağmen uçlar, ısıl ve mekanik yüklemelere maruz kalır ve nispeten kesme kuvvetleri yüksek olur. Yüksek kesme hızları, kesicinin uç bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşturmasına rağmen işleme zamanı dikkate alınmalıdır. Bir kesici takımın yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olması gerekir (Çetinçalı 2010).

Kesici takım malzemelerinde aranan özellikler;

- Kesici takım çalışma sıcaklıklarında iş parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır.
- Darbeli kesmelerde tokluğunun iyi olması gerekir.
- Aralıklı kesmelerde hızlı ısınma ve soğuma meydana geldiğinden termal şok direncinin yüksek olması gerekir.
- İş parçasına karşı düşük yapışkanlığının olması gerekir. İş parçası ile reaksiyona girmemesi gerekir.

5.1. Takım çelikleri

Piyasada en çok bilineni Yüksek Hız Çelikleridir (HSS). Yüksek hız çelikleri, az miktarda Wolfram (W), krom (Cr), vanadyum (V), kobalt (Co), nikel (Ni), molibden (Mo) ve manganez (Mn) alaşımları içeren yüksek karbonlu alaşımlardır. Yüksek hız çelikleri genellikle diğer takım malzemeleriyle karşılaştırıldığında maliyeti ucuzdur. Kolaylıkla şekillendirilebilir. Yüksek hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çelikler olup 600 °C sıcaklığa kadar sertliklerini muhafaza ettiklerinden talaşlı imalatta düşük kesme hızlarında (30-50 m/dak) kullanılan kesici takımlardır. Yüksek hız çelikleri, 650 °C' ye

kadar olan işlem sıcaklıklarında kullanılabilmekte ve takımlar tekrar tekrar bilenebilmektedir. Bu takımlar metal kesme endüstrisinde matkap, kılavuz, pafta, tığ (broş) vb. gibi önemli kesme alanlarına sahiptirler (Hansda 2011).



Şekil 5.1. Takım çelikleri (www.serkanaktashoca.com)

5.2. Sinterlenmiş karbürler

Sinterlenmiş karbürler, sert karbür parçacıklarının ve parçacıklar arasında bulunan bir bağlayıcının sinterleme yoluyla bir araya getirilmesiyle elde edilir. Bu malzeme hız çelikleri ile beraber en fazla kullanılan takım malzemesidir. Sinterlenmiş karbürlerde bağlayıcı içerisinde çeşitli karbürler kullanılmaktadır. Bu karbürler çok sert olan tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantalyum karbür (TaC) ve niyobyum karbür vb. malzemelerdir. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt (Co) kullanılır. Sinterlenmiş karbürler sahip oldukları özellikler açısından farklılıklar gösterirler, bazıları diğerlerinden daha sert, bazıları ise daha toktur. Sinterlenmiş karbür uçların kaliteleri genellikle aşağıdaki özelliklere bağlı olarak belirlenir:

- Sert parçacıkların tipi ve büyüklükleri,
- Bağlayıcının tipi ve oranı,
- Üretim teknikleri,
- Kalite

Sinterlenmiş karbürler, kaplamalı ve kaplamasız olarak iş parçası malzemelerinin işlenmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Çetinçalı 2010).

5.3. Koronitler

Koronitler yüksek hız çeliğinin tokluğu ile sinterlenmiş karbürün aşınma direncini bir araya getiren bir kesici takım malzemesidir. Koronit parmak frezeler, diğer talaşlı imalat alanında benzerlerinden daha hızlı talaş kaldırmalarını, daha uzun ve güvenilir bir takım ömrüne sahip olmalarını, daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmelerini sağlar. Bu takım malzemesi daha çok çelik işleme için geliştirilmiş bir malzeme olmasına karşın titanyum ve çeşitli hafif alaşımların işlenmesinde de iyi sonuçlar verir. Koronit takımlara, yeni bir takım malzemesi özelliklerini kazandıran tane büyüklüğüdür. Bu özellikler çok küçük (0,1 mikron) titanyum nitrür tanelerini üreten gelişmiş teknoloji sayesinde elde edilir. Özel bir tekniğin kullanılmasıyla küçük TiN taneleri çelik matrislerin içerisine % 35 ila % 60 oranında bir hacim kaplayacak şekilde dağıtılır. Küresel uçlu parmak frezeler dışında hiçbir parmak freze tümüyle koronit malzemeden yapılmaz (Çetinçalı 2010). Bu takımlar üç kısımdan oluşmaktadır (Hansda 2011) :

- Çelik bir çekirdek,
- Çapın % 15'i kalınlığında bir koronit tabakası,
- Yaklaşık 2 mikron kalınlığında bir TiCN veya TiN kaplama.

5.4. Sermetler

Sermet, sert partikül olarak tungsten karbür yerine titanyum karbür (TiC), titanyum karbon nitrür (TiCN) ve/veya titanyum nitrür (TiN) gibi titanyum esaslı karbürlerin kullanıldığı sinterlenmiş karbürlerin genel adıdır. Sermet ismi SERamik METal'den gelmektedir. Bunun nedeni metal bağlayıcı içerisindeki seramik parçacıklarıdır (Çetinçalı 2010).

İlk imal edildikleri dönemde yüksek kırılganlığa sahip yapıları nedeniyle imalat problemleriyle karşılaşılmış ancak molibden (Mo) ilavesiyle ve molibden karbür (Mo_2C) oluşumu sayesinde imal edilebilirlikleri kolaylaşmıştır. Oldukça kırılgan bir takım malzemesi olmalarına karşın sermetler oldukça zor talaş kaldırma işlemlerinde daha iyi bir tokluk sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Sermet takım malzemeleri sadece çeliklerde orta ince işlemlerde kullanılmak için geliştirilmiş malzemeler olmayıp frezeleme işlemlerinde ve paslanmaz çeliklerin tornalanmasında da kullanılmaktadırlar (www.serkanaktashoca.com).

5.5. Seramikler

Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadırlar (Çetinçalı 2010).

Seramik kesici takımlar, yüksek sıcaklıklara karsı dayanıklı malzemelerdir. Seramik kesicilerin kullanım alanları katkılı seramiklerin ve seramik matrisli kompozitlerin ortaya çıkmasıyla artmaya başlamıştır. Seramik kesicilerin esasını alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Bunun yanında magnezyum oksit (MgO), zirkonyum oksit (ZrO), krom oksit (CrO) gibi malzemeler, farklı özellikteki seramiklerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Seramik uçlar, yüksek kesme hızlarında, kesintisiz talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırken ısıl şoktan etkilenmemesi için ya kuru olarak ya da kesme hızının işleme bölgesine fazla verildiği şartlarda kullanılmalıdır. Sıcak presleme ile üretilen bu kesici takımlar, üstün özellikleri nedeniyle sertleştirilmiş çelik, nikel esaslı alaşımlar ve dökme demirin kesikli talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Genel olarak uygulama alanlarından bazıları;

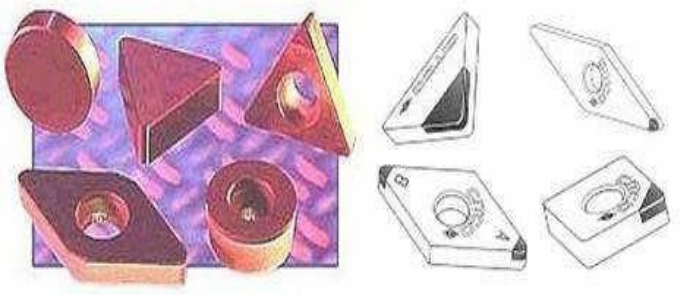
- Laboratuvar cihazları
- Yemek pişirme ekipmanları
- Isı değiştiricileri
- Su filtreleme vb. uygulama alanları mevcuttur (Hansda 2011).



Şekil 5.2. Seramik malzemeler (www.serkanaktashoca.com)

5.6. Kübik Boron Nitrür (CBN)

1962 yılında geliştirilen CBN, karbür gövdeye 0,5–1 mm kalınlığında polikristal kübik boron nitrürün basınç altında sinterlenerek yapılmasıyla elde edilir. Kübik boron nitrür (CBN), elmastan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir. Özellikle, elmasın kullanımını engelleyen hızlı aşınma olmaksızın yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süper alaşımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sementit karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir. Dövme çelik, sertleştirilmiş çelik, dökme demir, yüzeyi sertleştirilmiş iş parçaları ve ısıl dirençli alaşımlar CBN takımların yaygın olarak kullanıldığı malzemelerdir. CBN kesici uçlar sert çeliklerin hassas toleranslar gerektiren işlemleri ve ince işlemler için idealdirler. CBN kesici takımlar, sağladıkları mükemmel yüzey kaliteleri sayesinde tornalama işlemlerini taşlama işlemlerine alternatif hale getirmişlerdir (Çetinçalı 2010).



Şekil 5.3. Kübik boron nitrür malzemeler (www.serkanaktashoca.com)

5.7. Çok kristalli elmaslar (PCD)

Aşınmalara karşı en dayanıklı malzemedir. Bilinen en sert malzeme tek kristalli doğal elmastır. Hemen hemen doğal elmas kadar sert bir malzemedir. Çok kırılgan yapısından dolayı PCD ile yapılan işlemler çok kararlı koşullar, rijit tezgah ve takımların yanı sıra çok yüksek kesme hızları gerektirir. PCD kesici uçların yüksek sertliği çok yüksek aşınma direncine sahip olmasını sağlar ve bu özelliklerinden dolayı taşlama işleminde kullanılan taşların bilenmesinde kullanılır ve demir dışı metallerin kesimi için uygundur. Fakat demir dışı metallerin yapışma olasılığı yüksek olduğu için, PCD elmasların yüzeyleri ekstra parlatma işlemine tabi tutulur. İnce elmas kristallerinin yüksek basınç ve sıcaklık altında bir araya getirilmesiyle oluşturulurlar. Herhangi bir

yönde olası bir çatlak yayılmasının önlenebilmesi için yapı içerisine kristaller gelişi güzel biçimde dağıtılır. Böylelikle sertliğinin ve aşınma direncinin her yönde yüksek olması sağlanır. Küçük PCD kesici kenarların sinterlenmiş karbür uçlarla beraber kullanılmasıyla yapıya mukavemet ve darbe direnci kazandırılmış olur. Bu da sinterlenmiş bir takım ömrünün yaklaşık yüz katına tekabül eder. PCD'lerin zayıf yönleri şunlardır:

- Kesme bölgesi sıcaklıkları 600° C 'ı aşmamalıdır.
- Afinite nedeniyle demir esaslı malzemelerde kullanılmamalıdır.
- Tok, yüksek çekme mukavemetine sahip malzemeler için kullanılmamalıdır.

Bu zayıf yönlerinden dolayıdır ki talaşlı imalat işlemlerinden büyük çoğunluğunda kullanılamamaktadır. İnce ve yarı ince tornalama ve delik işleme tipik PCD işlemleridir. Düşük ilerlemeler, düşük talaş derinlikleri, darbeli talaş kaldırma işlemlerinden ve şoklardan kaçınılması son derece önemlidir (Çetinçalı 2010).

6. MATERYAL VE METOT

6.1. İş Parçası Malzemesi

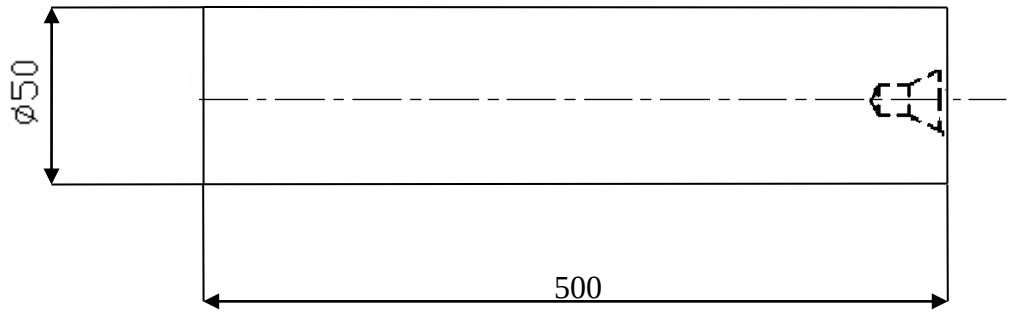
Yapılan deneysel çalışmada iş parçası malzemesi olarak mekanik özelliği yüksek (yüksek dayanım ve sertliğe sahip), korozyon ve sıcaklığa dirençli olması istenilen biomedikal alanda (medikal implant) ve jet motorlarına ait mühendislik parçalarının üretiminde yaygın olarak tercih edilen Co28Cr6Mo ASTM F1537 kalite sıcak tavlanmış çelik kullanılmıştır.

6.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneyler için 50 mm çapında ve 500 mm boyunda 2 adet CoCrMo çubuk malzeme kullanılmıştır. Deney malzemesi 40 HRC sertliğindedir. Deney malzemesi, ASTM F1537 standardı göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Deney malzemesine, ayna-punta arasında işlemeye uygun olacak biçimde bir tarafına koruyucu havşası olan punta deliği açılmıştır.

Tablo 6.1. Deneyde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	Co (%)	N (%)	W (%)	Fe (%)
0,04	0,04	0,04	0,003	0,005	27,5	0,1	5,5	0,01	64,67	0,163	0,02	0,39



Şekil 6.1. Deneyde kullanılan malzeme

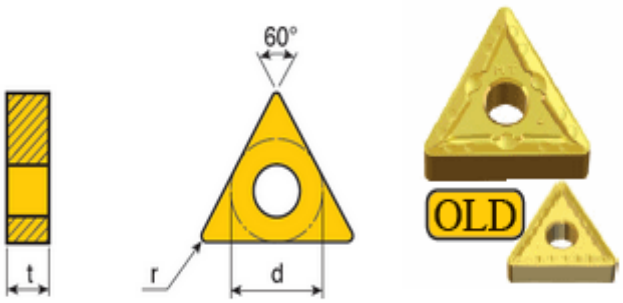
6.3. Kesici Takım Seçimi

Bu çalışmada ‘’TAEGUTEC’’ firmasının Co alaşımları için önermiş olduğu PVD yöntemiyle TiCN kaplamalı TNMG 160404, TNMG 160408 ve TNMG 160412 MT TT8020 takımlarıdır. TNMG MT serisi uç ve uç boyutları Şekil 6.2 ve şekil 6.3' de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. TNMG MT serisi uçlar

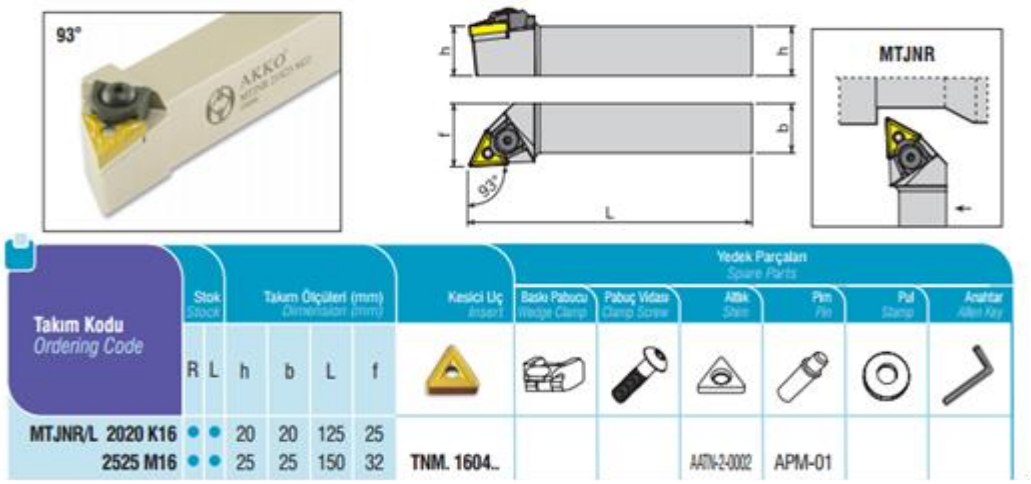
Parametreler	Değerler (mm)
l	16,5
d	9,52
t	4,76
r	0,4,0,8,1,2
h	3,81



Şekil 6.3. TNMG MT serisi uç boyutları

6.4. Takım Tutucu

Deneyde kullanılacak kesici takımlar için AKKO marka MTJNR-L 2525 M16 serisi kater kullanılmıştır. TNMG tipi takımların deney esnasında bağlandığı takım tutucunun ölçüleri ve bağlanması şekil 6.4 ve şekil 6.5' de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Deneyde kullanılan takım tutucu ve boyutları



Şekil 6.5. Deneyde kullanılan takım tutucu ve ivme sensörünün bağlanması

6.5. Takım Tezgâhı

Deneylerin talaş kaldırma işlemleri, Konya'da bulunan ''SİSTEM ORTOPEDİ'' firmasında endüstriyel tip Sogotec TC25-L tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Bu torna tezgâhı 30 KW gücünde olup değişken iş mili hızı 3500 dev/dk' ya kadar yükselebilmektedir.

6.6. Titreşim ölçüm cihazı

Titreşim ölçümlerini gerçekleştirebilmek için kullanılan akselerometre (accelerometer) Kistler 8692C50 model ve kullanılan Charge Amplifier da Kistler 5134 B tipindedir. Sonuçların grafik olarak elde edilmesi için Matlab programı kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Deneyde kullanılan Kistler 5134B serisi Charge Amplifier (Yükselteç)



Şekil 6.7. Deneyde kullanılan Kistler 8692C50 serisi ivme ölçer

Tablo 6.2. Deneyde kullanılan Kistler 5134B serisi Charge Amplifier (Yükselteç) Özellikleri

Kanal Sayısı	4
Ölçme Aralığı (pC)	0,5…150
Akım, programlanabilme, 16 seviye (mA)	0…15
Doğrusallık Hataları (% FS)	± 0,5
Frekans Aralığı (Hz)	48...62
Çıkış Gerilimi (V)	± 5 veya ±10
Çalışma Sıcaklık Aralığı (ºF)	32-122
Boyutlar (mm) Genişlik Yükseklik Derinlik	 195 141 93,5
Ağırlık (kg)	1,75
FS = Full Scale (Ölçme aralığının son değeri)	

Tablo 6.3. Deneyde kullanılan Kistler 8692C50 serisi ivme ölçer özellikleri

Hız Aralığı (g)	-50…+50
Hız Limiti (g_{pk})	-80…+80
Akım (mA)	2…20
%5 Hassasiyet (mV/g)	100
Rezonans Frekansı (kHz)	22
%5 Doğruluk Frekans Cevabı (Hz)	6000
Çalışma Sıcaklık Aralığı (ºF)	32…149
Gerilim (VDC)	20…30
Empedans (kΩ)	100
Manyetik Tutma Kuvveti (N)	12.2
Tork (N.m)	1.3

6.7. Yüzey Pürüzlülügü Ölçme Cihazı

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için, Tablo 6.4' de teknik özellikleri verilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır.

Tablo 6.4. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazının teknik özellikleri

MODEL	**Mitutoyo SJ-201**
Ölçme Hızı	0,25, 0,5 mm/sn
Ölçme Kuvveti	4 mN
Uç Malzemesi	Elmas
Numune (Örnekleme) Uzunluğu	0,25, 0,8, 2,5 mm
Değerlendirme Uzunluğu	0,3- 12,5 mm



Şekil 6.8. Deneyde kullanılan Mitutoyo SJ-201 serisi yüzey pürüzlülük cihazı

6.8. Kesme Parametreleri

Değişik kesme parametrelerinin Co28Cr6Mo ASTM F 1537 çeliği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir dizi kesme deneyleri yapılmıştır.

Gerçekleştirilen kesme deneylerinde bu iş parçası malzemesinin işlenmesinde 3 farklı iş devri (n) ve 3 farklı ilerleme hız değeri (f, mm/dev), 3 farklı kesme derinliği (a, mm) ve 3 farklı uç yarıçapı (r, mm) kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 6.5' de gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Kesme parametrelerinin üç seviye değerleri

Kesme Parametreleri	Seviye		
	I	II	III
İşin devri (n)	318	477	636
İlerleme (f, mm/dev)	0,1	0,15	0,25
Kesme Derinliği (mm)	0,5	0,7	0,9
Uç yarıçapı (mm)	0,4	0,8	1,2

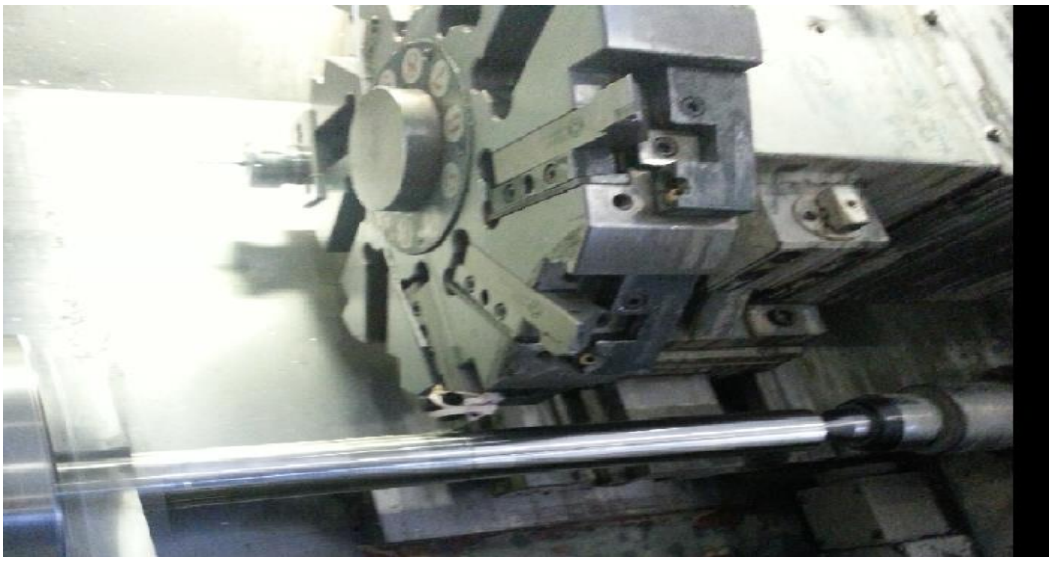
6.9. Deneylerin Yapılışı



Şekil 6.9. Deney düzeneği

Deneyler, kuru kesme şartlarında her bir deney için yeni bir kesici uç kenarı kullanarak iş parçalarının dış yüzeylerinden talaş kaldırmak suretiyle yapılmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır. 40 HRC sertliğinde ve Ø50x500 mm ebatlarında hazırlanmış CoCrMo alaşımlı iş parçası malzemesi Sogotec TC25-L tipi CNC torna tezgâhında işlenerek titreşim ve yüzey pürüzlülük verileri elde edilmiştir. CoCrMo alaşımı için 81 deney uygulanmıştır. Her bir kesme işleminden sonra oluşan

silindirik yüzeyin üç farklı bölümünden iş parçası eksenine paralel yönde ölçülen pürüzlülük değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde Mitutoyo SJ-201 serisi yüzey pürüzlülük cihazı (cut-off mesafesi 2.5mm) kullanılmıştır.



Şekil 6.10. Deneyin yapılışı



Şekil 6.11. Titreşimin ölçülmesi



Şekil 6.12. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde Co28Cr6Mo sıcak tavlanmış çelik malzemenin işlenebilirlik kriteri olarak tornalama esnasındaki ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, her bir kesme parametresi için farklı takım uç yarıçaplarında değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü genel olarak işin devri (n), ilerleme hızı (f), talaş derinliği (a), takım burun yarıçapı (r) gibi faktörlere bağlıdır.

Genel olarak takım burun yarıçapı ile yüzey pürüzlülüğü değeri ters orantılıdır. Takım burun yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalır, azaldıkça yüzey pürüzlülük değeri artar. Fakat takım burun yarıçapının artırılması her durumda yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmeyebilir. Bunların nedenleri arasında, gereğinden fazla büyük seçilen radyüsün kesme kuvvetini artırması böylece kesici uçta sürtünme meydana gelmesi ve kötü bir yüzey kalitesi ortaya çıkması, belirtilen kesme şartlarında malzemenin zor işlenmesinden dolayı titreşimin yüksek olması, kesme parametrelerinin uygun olmayışı gösterilebilir.

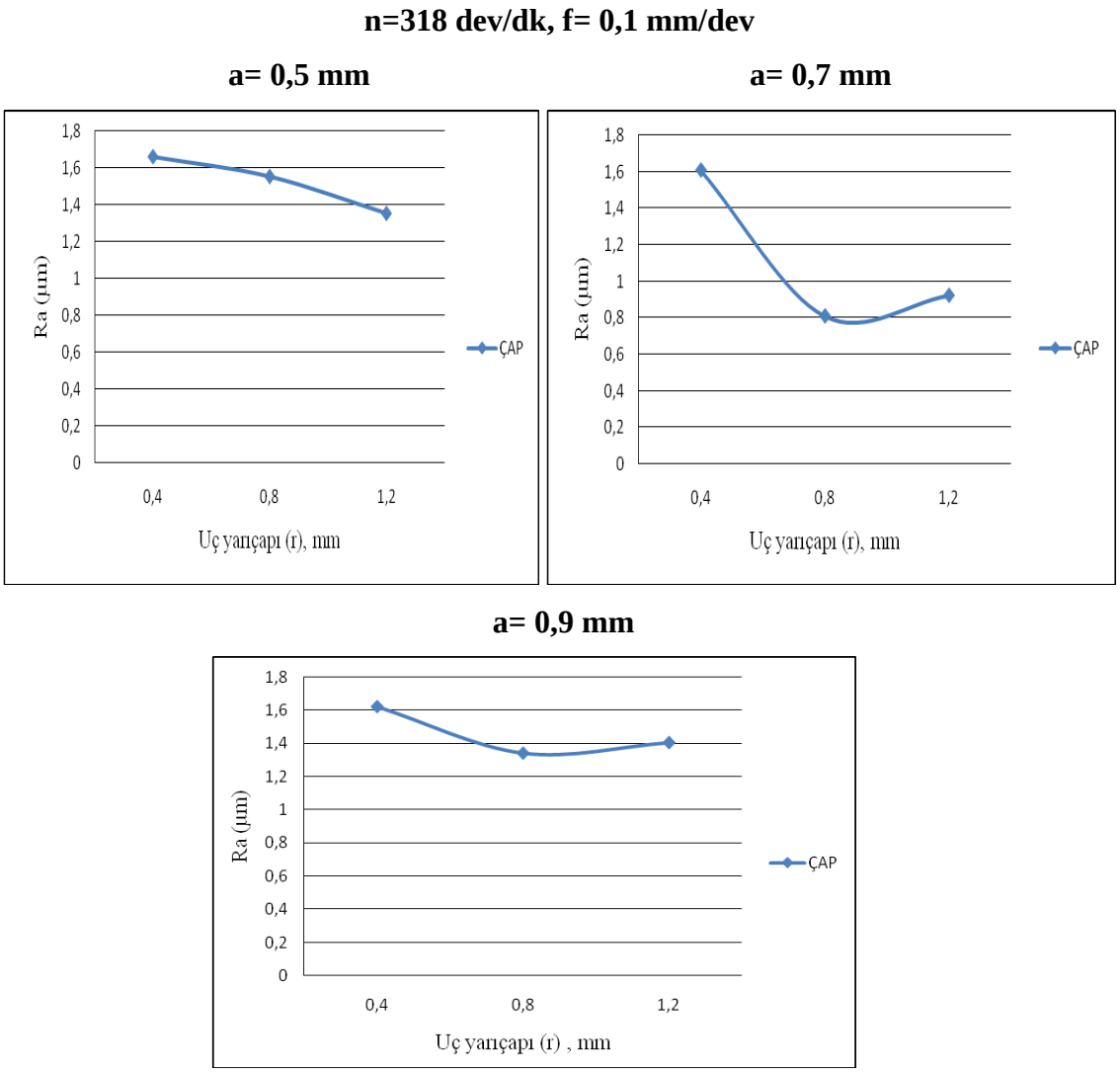
7.1. Deneysel Sonuçlar

7.1.1. Ra (Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü) Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n= 318-477-636 dev/dk, f= 0,1-0,15-0,25 mm/dev ve talaş derinliği 0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri

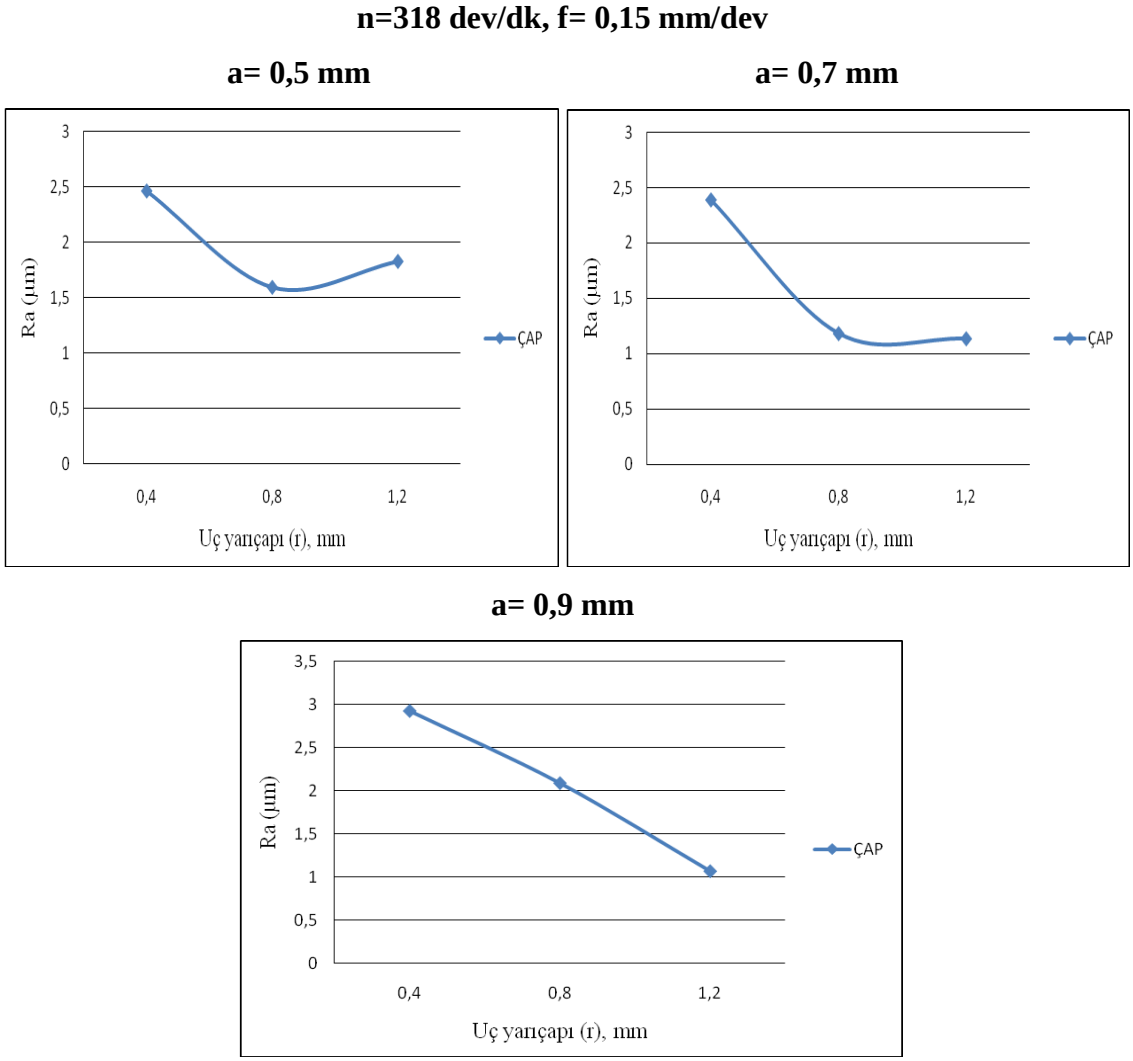
gösterilmiştir. Grafikler de görüldüğü üzere takım uç yarıçapının artmasıyla genel olarak yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. Fakat bazı durumlarda artmıştır.

Şekil 7.1' de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=318 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm' de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=318 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5 mm' de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. n=318 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,7 mm' de takım uç yarıçapı 0,4 mm' den 0,8 mm' ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm' den 1,2 mm' ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır. n=318 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,9 mm' de de aynı şekilde takım uç yarıçapı 0,4 mm' den 0,8 mm' ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri azalmış; 0,8 mm' den 1,2 mm' ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır.



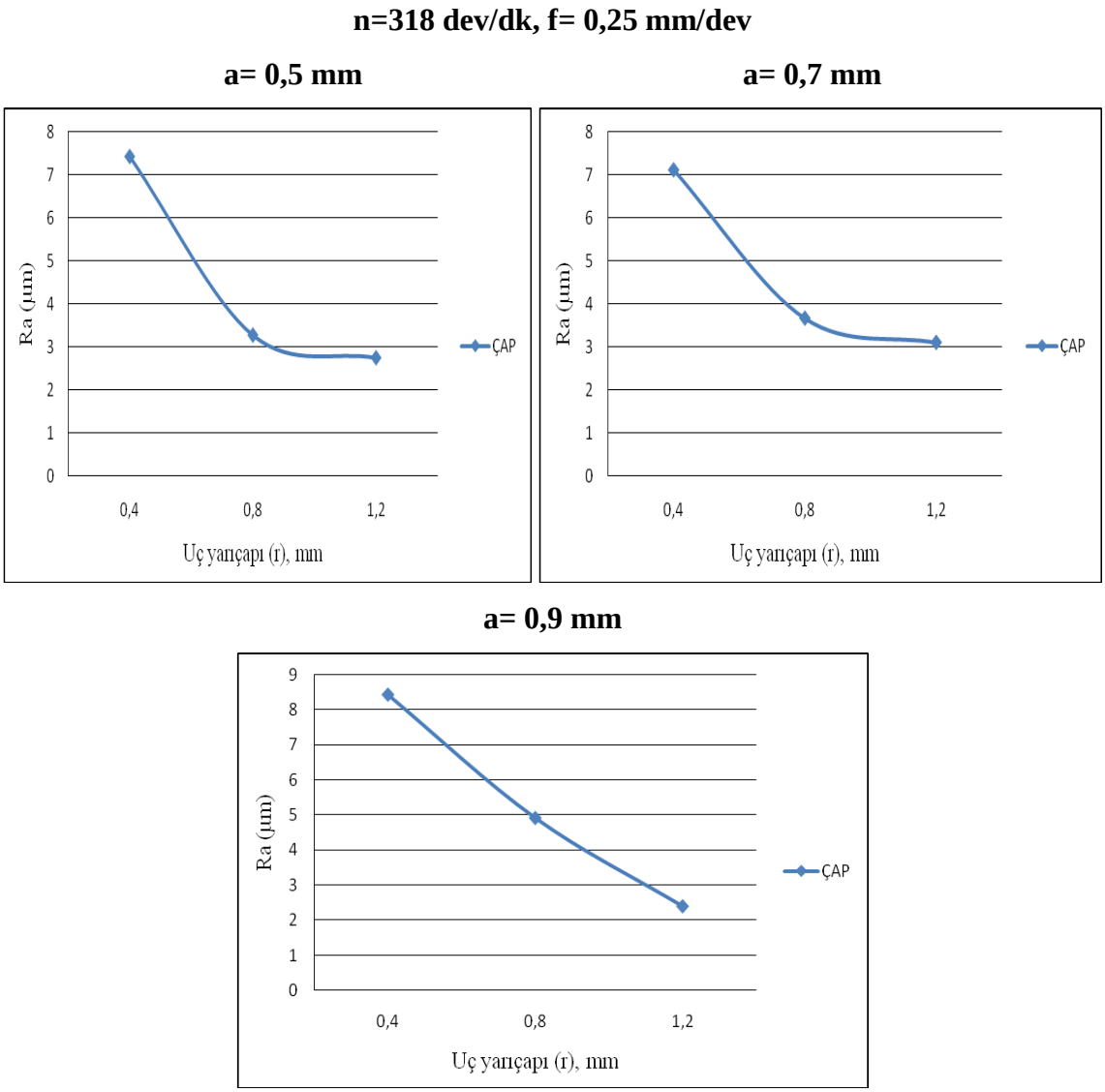
Şekil 7.1. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.2’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=318 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=318 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır. n=318 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ e yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir azalma olmamıştır. n=318 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri hızla azalmıştır.



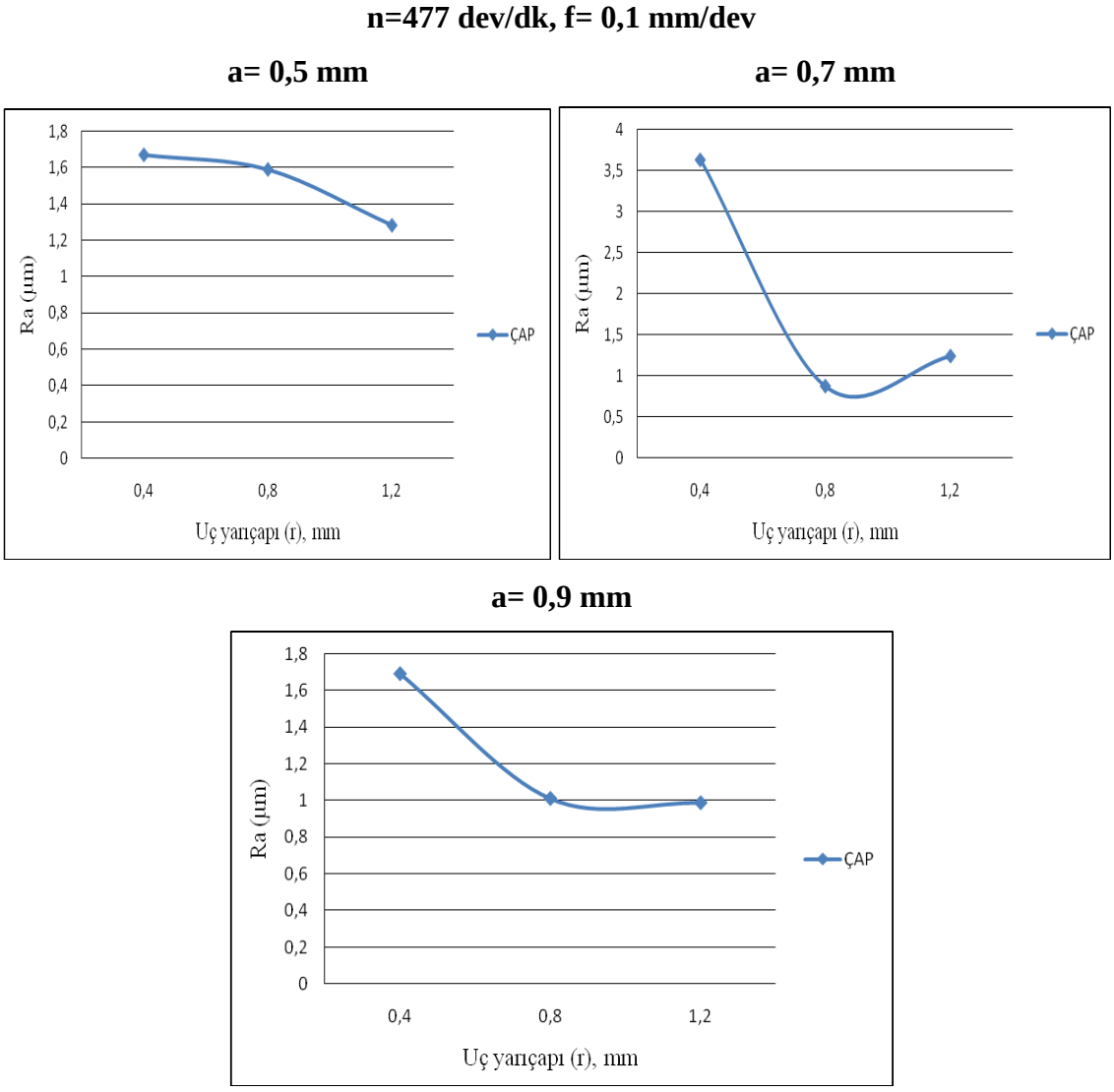
Şekil 7.2. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.3’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=318 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=318 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir azalma olmamıştır. n=318 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ e yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir azalma olmamıştır. n=318 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri hızla azalmıştır.



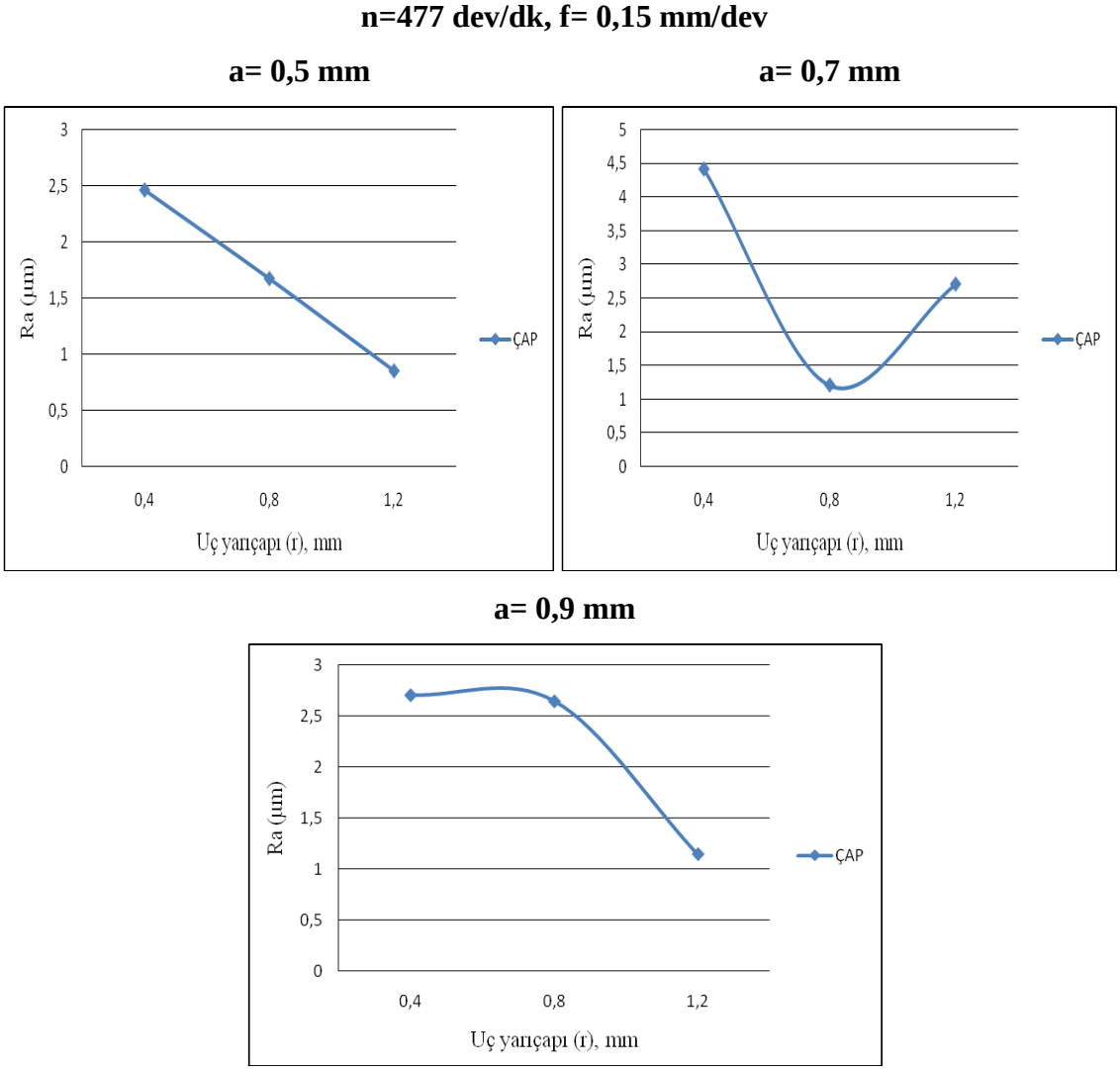
Şekil 7.3. İşin devri n= 318 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.4’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=477 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=477 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. n=477 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ e yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır. n=477 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır.



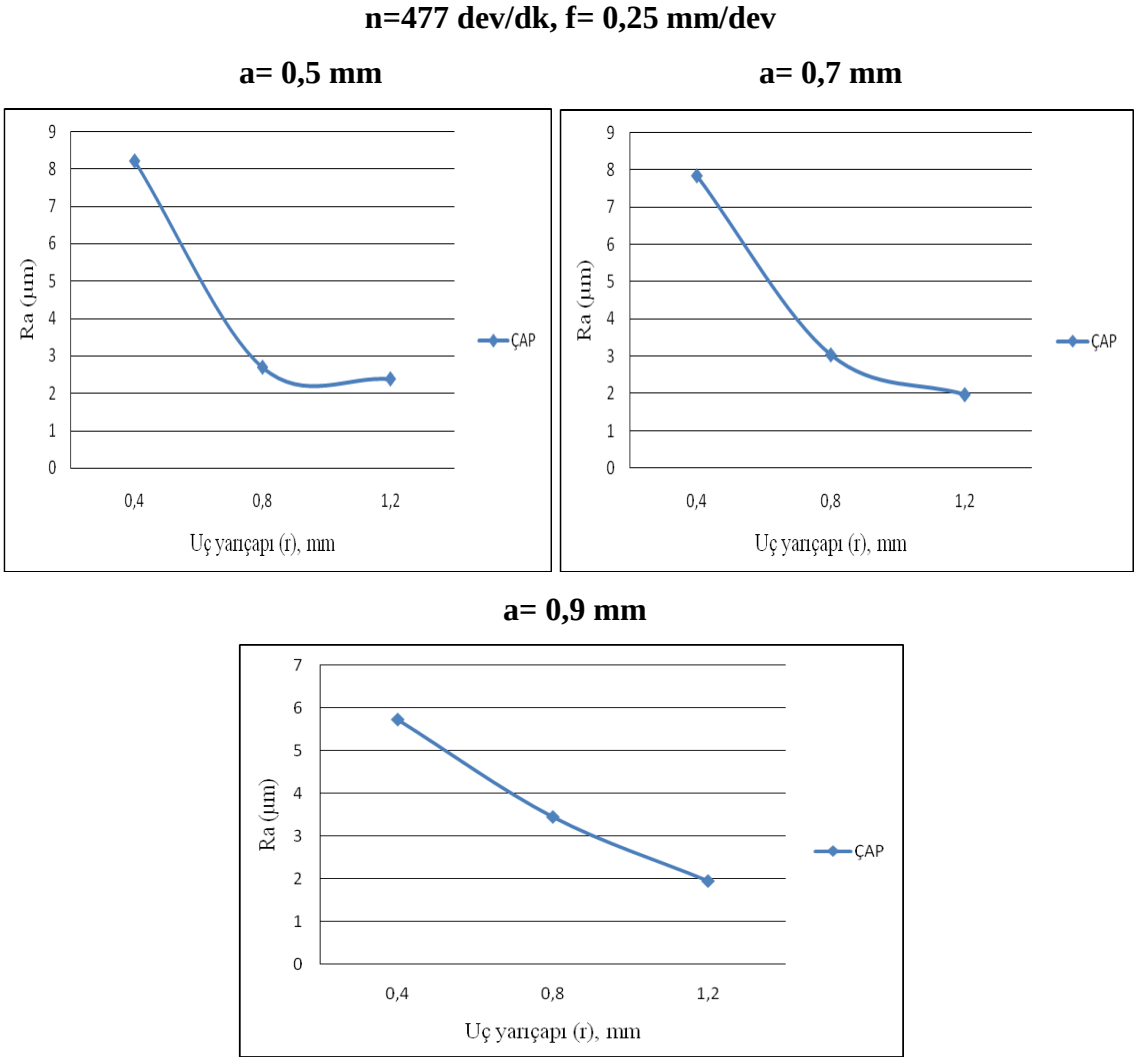
Şekil 7.4. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.5’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ e yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde ise aniden artış olmuştur. n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır.



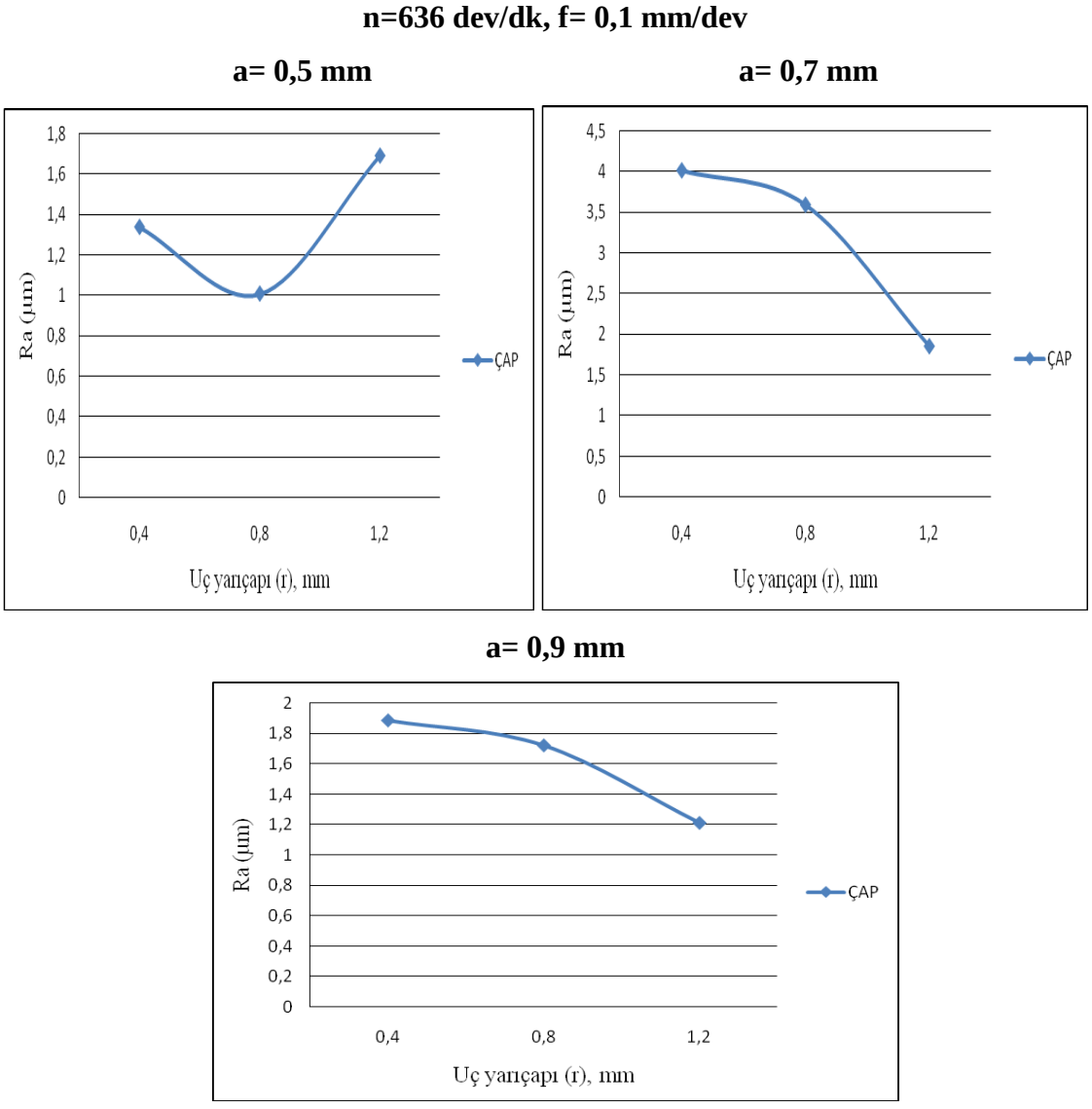
Şekil 7.5. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.6’ da uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=477 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=477 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir azalma olmamıştır. n=477 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ e yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde ise azalma olmuştur. n=477 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır.



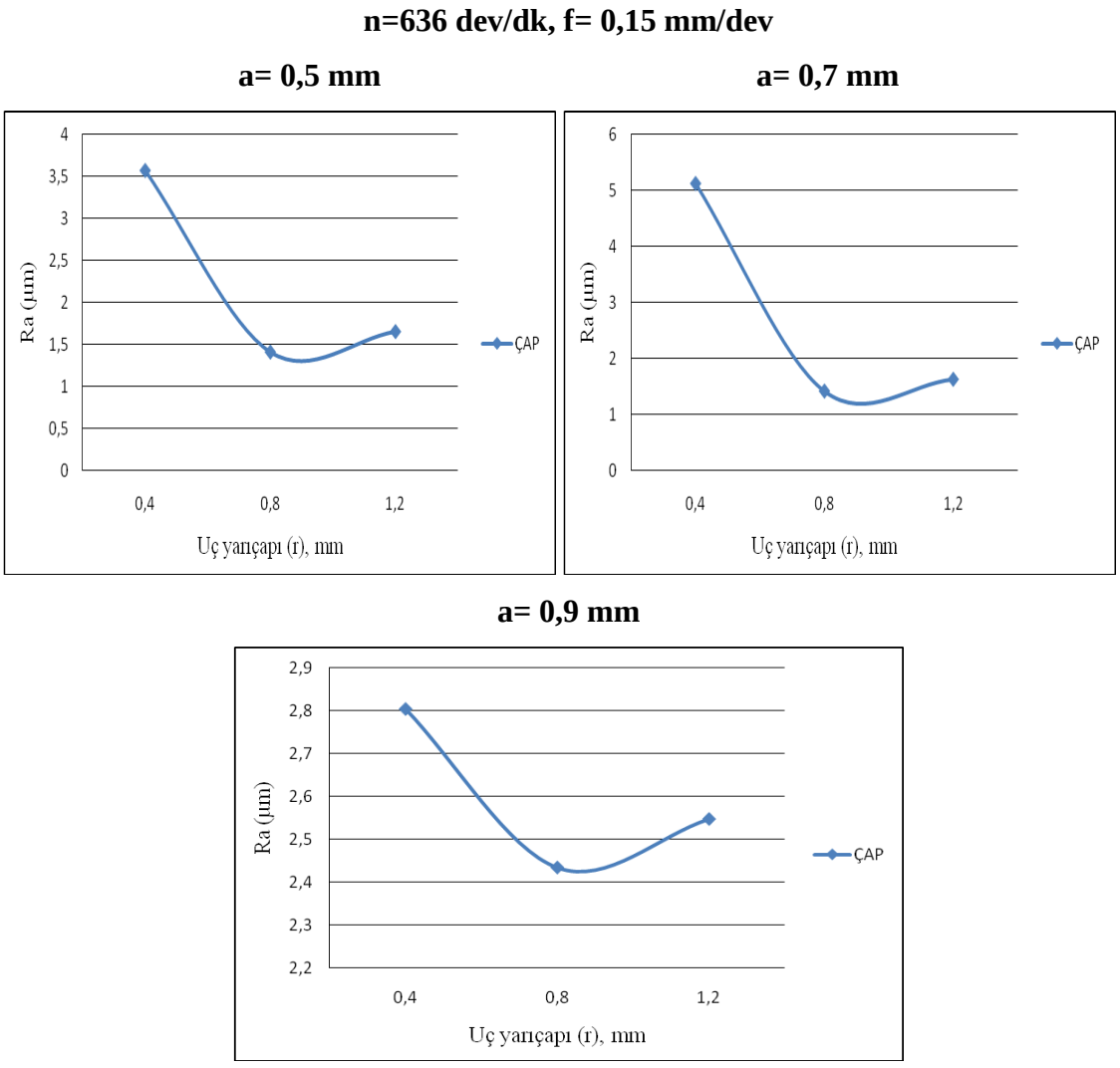
Şekil 7.6. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.7’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=636 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=636 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde artış olmuştur. n=636 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,7 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. n=636 dev/dk, f=0,1 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır.



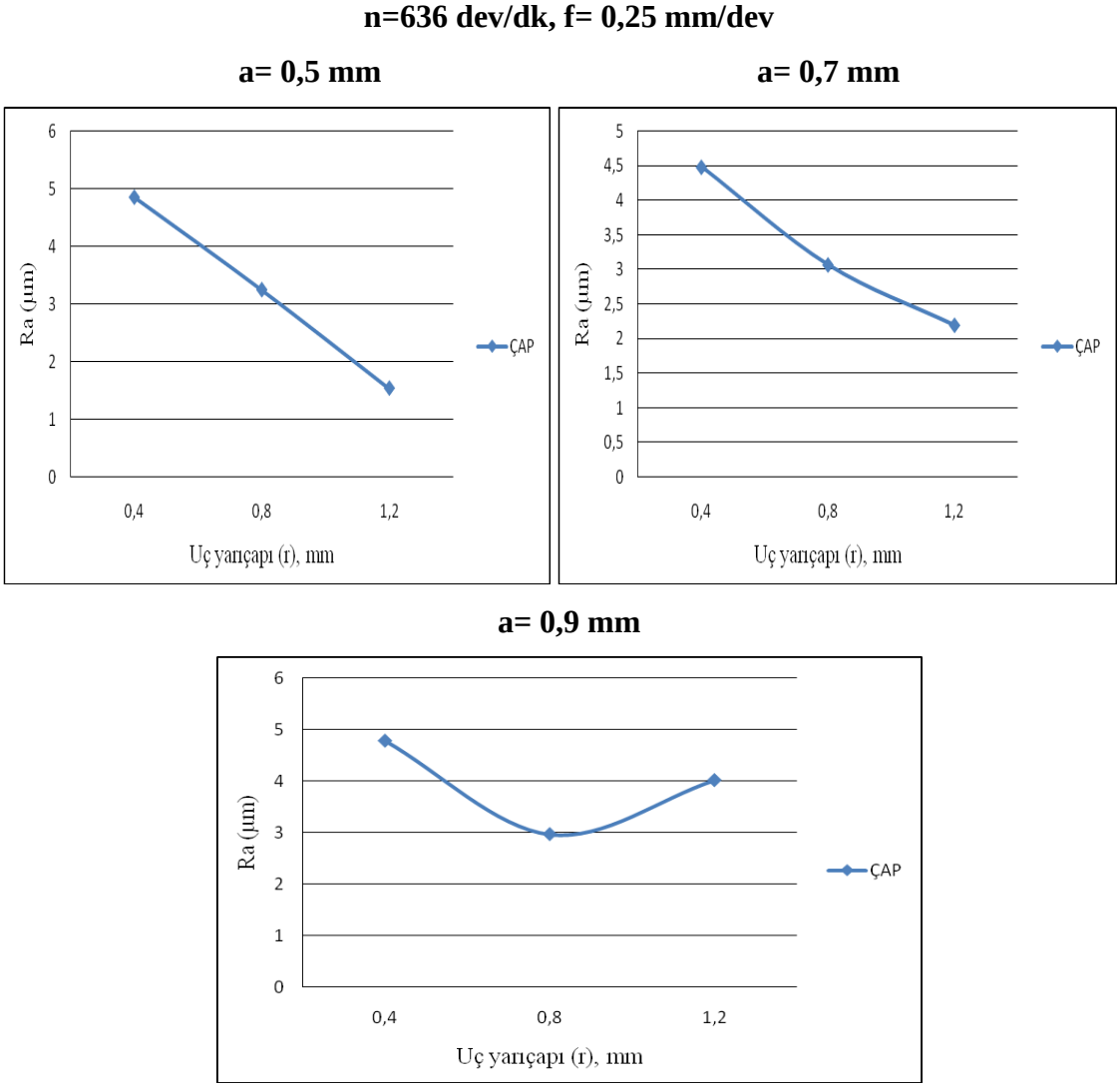
Şekil 7.7. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,1 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.8’ de uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=636 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=636 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır. n=636 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,7 mm’ de de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır. n=636 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde önemli bir artış olmamıştır.



Şekil 7.8. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 7.9’ da uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=636 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm’ de yüzey pürüzlülük grafikleri gösterilmiştir. n=636 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,5 mm’ de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. n=636 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,7 mm’ de de takım uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. n=636 dev/dk, f=0,25 mm/dev ve a=0,9 mm’ de takım uç yarıçapı 0,4 mm’ den 0,8 mm’ ye yükseldiğinde yüzey pürüzlülük değeri aniden azalmış; 0,8 mm’ den 1,2 mm’ ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde de aniden bir artış olmuştur.

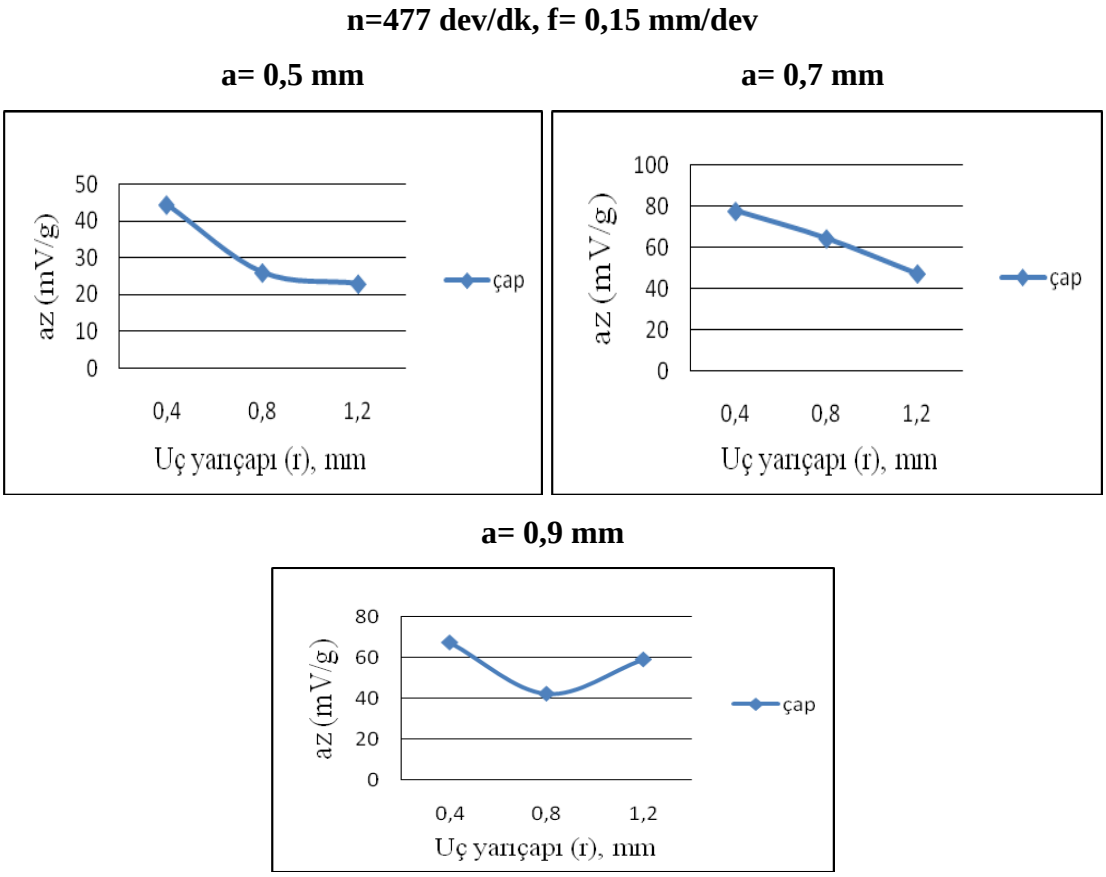


Şekil 7.9. İşin devri n= 636 dev/dk ve f=0,25 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için yüzey pürüzlülük grafiği

7.1.2. Titreşim Ölçüm Sonuçları

Takım burun yarıçapının artmasıyla genel olarak titreşim değerleri azalmıştır. Fakat kesme parametrelerine göre de bazı durumlarda değişkenlik göstermiştir. Bunun nedenleri arasında, tezgahın rijitsizliği, gereğinden fazla büyük seçilen radyüsün kesme kuvvetini artırması böylece kesici uçta sürtünme meydana gelmesi ve tırlama olması, belirtilen kesme şartlarında malzemenin zor işlenmesi, kesme parametrelerinin uygun olmayışı gösterilebilir.

Şekil 7.10' da uç yarıçapına göre (0,4-0,8-1,2 mm) n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm' de titreşim grafikleri gösterilmiştir. n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5 mm' de takım uç yarıçapı arttıkça titreşim değeri azalmıştır. n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,7 mm' de takım uç yarıçapı arttıkça titreşim değeri azalmıştır. Fakat n=477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,9 mm' de de takım uç yarıçapı 0,4 mm' den 0,8 mm' ye yükseldiğinde titreşim değeri azalmış; 0,8 mm' den 1,2 mm' ye yükseldiğinde pürüzlülük değerinde artış olmuştur.



Şekil 7.10. İşin devri n= 477 dev/dk ve f=0,15 mm/dev ve a= 0,5-0,7-0,9 mm için titreşim grafiği

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullanılan parametreler titreşim ölçümü için de geçerlidir. Yukarıda sadece n= 477 dev/dk, f=0,15 mm/dev ve a=0,5-0,7-0,9 mm talaş derinliğindeki sonuçlar gösterilmiştir. Bu deney sonuçları artırılabilir. Fakat genel olarak uç yarıçapı ile titreşim değeri ters orantılıdır. Yani uç yarıçapı arttıkça titreşim değerleri azalır, uç yarıçapı azaldıkça titreşim değerleri artar.

7.2. Teorik Sonuçlar

Bu bölümde, ANOVA (Varyans Analizi), RSM (Response Surface Methodology) ve Taguchi Ortogonal Dizayn Metodu birlikte kullanılmıştır. Birinci aşamada tepki değerlerinin elde edilebilmesi için bir deneysel parametre kombinasyonu oluşturarak üç parametre ve üç seviye için $L_{27}(3^{13})$ Taguchi standart ortogonal deney tasarımına bağlı kalınarak çalışma toplam 27 fiziksel deneye göre gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada elde edilen tepkilerin giriş parametreleri ile olan ilişkileri ikinci dereceden polinomiyal veya üssel bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Üçüncü olarak son aşamada ise yüzey grafikleri ve ANOVA gibi analizlerle optimum noktaların tespiti gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmaya uygun (3^4) deneysel parametre tasarım sıralaması ile bunlara karşılık gelen tepkiler Tablo 7.1 ile verilmiştir. Tablodaki ilk parametre sütununda devir sayısı (n), ikinci parametre sütununda ilerleme (f), üçüncü parametre sütununda talaş derinliği (a) ve son parametre sütununda ise takım uç yarıçapı (r) ifadeleri yer almaktadır. Tablonun en sağında pürüzlülük ifadesi olan Ra ve Rz ifadelerine yer verilmiştir.

Tablo 7.1. Deneysel parametreler ve ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri.

Deney sayısı	Parametre				Pürüzlülük	
	n (dev/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	r (mm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	318	0.1	0.5	0.4	1.660	10.283
2	318	0.1	0.7	0.8	0.810	5.540
3	318	0.1	0.9	1.2	1.070	6.863
4	318	0.15	0.5	0.8	1.593	10.163
5	318	0.15	0.7	1.2	1.137	6.723
6	318	0.15	0.9	0.4	2.920	16.790
7	318	0.25	0.5	1.2	2.750	16.387
8	318	0.25	0.7	0.4	7.110	32.110
9	318	0.25	0.9	0.8	4.923	20.703
10	477	0.1	0.5	0.8	1.590	10.240
11	477	0.1	0.9	1.2	0.987	6.123
12	477	0.1	0.9	0.4	1.690	10.823
13	477	0.15	0.5	1.2	0.857	5.653
14	477	0.15	0.7	0.4	4.410	23.787
15	477	0.15	0.9	0.8	2.647	15.340
16	477	0.25	0.5	0.4	8.207	36.523
17	477	0.25	0.7	0.8	3.037	16.037
18	477	0.25	0.9	1.2	1.950	10.700
19	636	0.1	0.5	1.2	1.690	10.697
20	636	0.1	0.7	0.4	4.017	20.863
21	636	0.1	0.9	0.8	1.720	10.940
22	636	0.15	0.5	0.4	3.567	22.513
23	636	0.15	0.7	0.8	1.417	8.753
24	636	0.15	0.9	1.2	2.547	14.720
25	636	0.25	0.5	0.8	3.243	18.310
26	636	0.25	0.7	1.2	2.193	14.443
27	636	0.25	0.9	0.4	4.787	30.190

7.2.1. Modelin Oluşturulması

Bu çalışmada devir sayısı (n), ilerleme oranı (f), talaş derinliği (a) ve takım uç radyüsüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra ve Rz) değerlerinin tahmini için RSM tabanlı quadratik modeller geliştirilmiştir. İki faktör etkileşiminin dikkate alındığı ikinci derece denklem (7.1) aşağıda verilmiştir.

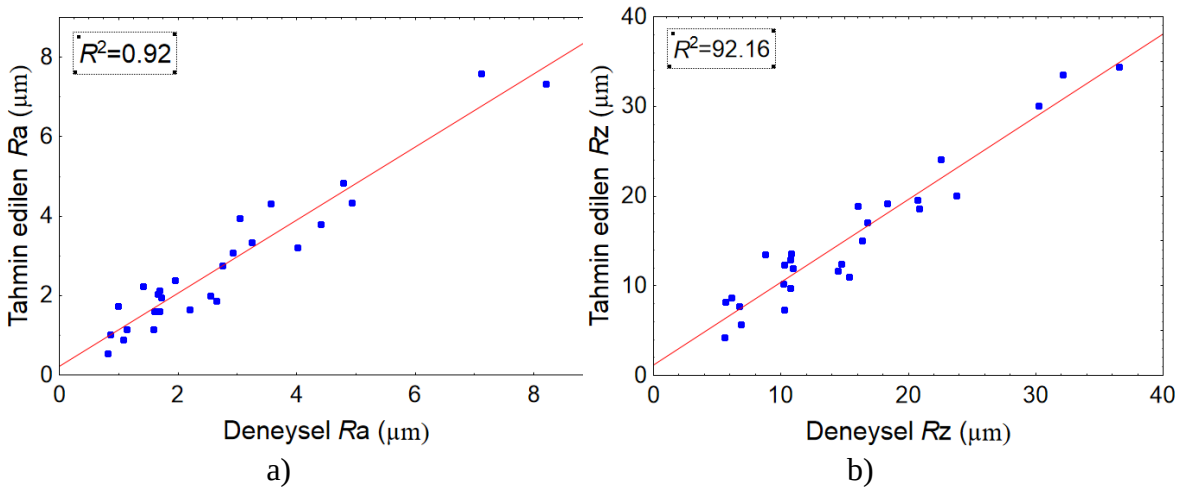
$$Y = \beta_0 + \beta_1 n + \beta_2 f + \beta_3 a + \beta_4 r + \beta_{11} n^2 + \beta_{22} f^2 + \beta_{33} a^2 + \beta_{44} r^2 \\ \beta_{12} nf + \beta_{13} na + \beta_{14} nr + \beta_{23} fa + \beta_{24} fr + \beta_{34} ar \qquad (7.1)$$

Bu çalışmada deneysel veriler Statistica 10 istatistik yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Giriş parametre kodları kullanılarak oluşturulan tepki tahmin modelleri (7.1) denklemi şeklinde oluşturulmuştur. Her bir tepki için oluşturulan bu tahmin denklemleri Tablo 7.2 ile verilmiştir.

Tablo 7.2. Regresyon modelleri ve R^2 değerleri

Regresyon modelleri	R^2
$Ra = -3.571 + 0.013n + 66.367\,f + 2.889a + 3.890r$ $- 2e^{-6}n^2 + 34.239\,f^2 - 3.177a^2 + 3.890r^2$ $- 0.066nf - 0.002na + 0.002nr - 12.942\,fa - 25.637\,fr + 5.352ar$	% 92,00
$Rz = 5.792 + 0.020n + 272.884\,f - 18.234a - 40.842r$ $+ 2.1e^{-5}n^2 + 28.032\,f^2 + 5.966a^2 + 21.744r^2$ $- 0.199nf + 0.008na - 0.004nr - 39.732\,fa - 103.279\,fr + 13.747ar$	% 92,16

Pürüzlülüğe ait regresyon denklemlerinin tahmin yeteneklerini gösteren R^2 ifadesi %90'dan daha yüksek olduğu için tüm tepki değerlerinin %95 güven aralığı içinde gerçeğine en yakın tahmin edilmesinde son derece yeterli olduğu söylenebilir. Şekil 7.11 ile verilen deneysel kuvvetler ile tepkilerin tahmini için oluşturulan regresyon denklemleri aracılığıyla üretilen tahmin değerlerinin uyumunu gösteren grafikler verilmiştir. Grafiklerdeki içi dolu noktalar tahmin değerleri ile deneysel değerlerin örtüştüğü her bir konumu göstermektedir. Bu noktaların yine grafik içerisindeki doğrusal çizgilere olan yakınlığı tahmin edilen değerlerin gerçeğine uyumunu gösterir. Ra için verilen Şekil 7.11-a içerisindeki grafiğin tahmin tutarlılığı %92.0 ve Şekil 7.11-b ile verilen Rz için tahmin tutarlılığı %92.16 olarak tespit edilmiştir. Verilen her iki grafik için oluşturulan pürüzlülük modelleriyle elde edilen tahmin değerlerinin gerçekteki değerlere son derece yakın olduğu gözlemlenmiş ve dolayısıyla geliştirilen tahmin denklemlerin geçerliliği ispatlanmıştır.



Şekil 7.11. Tahmin edilen ve gerçek pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

7.2.2. Varyans Analizi (ANOVA)

Deneylerde kullanılan parametrelerin tepkiler üzerindeki hem yalın hem de etkileşimli etkilerinin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) kullanılabilir. Tablo 7,3 ve 7.4'te, sırasıyla Ra ve Rz için yapılan ANOVA tablolarına yer verilmiştir. ANOVA analizinde bir parametre veya etkileşiminin tepki üzerinde etkili olup olmadığı P (önem/olasılık) değerine bakılarak kararlaştırılır. %95 güven aralığı göz önüne alınarak P<0.05 (%5 önem değeri) olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna varılır. Toplam varyasyon üzerine her bir faktörün katkısı çizelgelerin sağ bölümünde yüzde olarak (PC%) belirtilmiştir. Buna göre Ra için en etkili parametrelerin %38 oranında takım uç yarıçapı, arkasından %33 ile ilerlemenin olduğu görülmektedir. Tablo 7.4 ile verilen Rz için ANOVA tablosunda en etkili parametreler yaklaşık olarak %43 oranla takım uç yarıçapı ve %33 oranla ilerleme olarak görülmektedir. Verilen her ANOVA tablosu için belirtilen etkili parametreler haricindeki diğer parametrelerin de bir miktar etkili olduğu, oranlardan tespit edilebilir. Ancak bu etkiler genele göre oldukça düşük kaldığından etkili değilmiş gibi yani ihmal edilerek analizler yorumlanmıştır.

Tablo 7.3. Ra için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	PC (%)	R^2
n	1	0,00737	0,01245	0,913007	0,01	
n^2	1	0,01239	0,02091	0,887414	0,02	
f	1	29,68080	50,11109	0,000013*	33,4	
f^2	1	0,16761	0,28298	0,604463	0,19	
a	1	0,23124	0,39042	0,543778	0,27	
a^2	1	0,08628	0,14566	0,709387	0,1	
r	1	33,89435	57,22497	0,000007*	38,14	
r^2	1	2,30909	3,89852	0,071795	2,6	%92.00
n x f	1	7,51427	12,68660	0,003911*	8,46	
n x a	1	0,05429	0,09166	0,767264	0,07	
n x r	1	0,11335	0,19137	0,669548	0,13	
f x a	1	0,47480	0,80163	0,388215	0,54	
f x r	1	6,99641	11,81228	0,004923*	7,88	
a x r	1	2,25558	3,80817	0,074738	2,54	
Hata	12	7,10760				
Toplam SS	26	88,87707				

*Dolgulu hücrelere ait parametreler tepki üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.
df: Serbestlik derecesi, SS: Kareler toplamı, F:F-testi değeri, P:Hataların varyansı, PC: Yüzde katkı oranı

Tablo 7.4. Rz için ANOVA sonuçları

	df	SS	F	P	PC (%)	R^2
n	1	24,348	2,10320	0,172623	1,38	
n^2	1	1,653	0,14278	0,712128	0,1	
f	1	595,078	51,40275	0,000011*	33,59	
f^2	1	0,112	0,00970	0,923151	0,01	
a	1	3,142	0,27137	0,611893	0,18	
a^2	1	0,304	0,02628	0,873919	0,02	
r	1	765,115	66,09049	0,000003*	43,19	
r^2	1	72,130	6,23057	0,028115*	4,08	
n x f	1	68,145	5,88635	0,031955*	3,85	%92.16
n x a	1	0,731	0,06315	0,805835	0,05	
n x r	1	0,887	0,07659	0,786685	0,06	
f x a	1	4,475	0,38653	0,545760	0,26	
f x r	1	113,540	9,80760	0,008664*	6,41	
a x r	1	14,881	1,28543	0,279035	0,84	
Hata	12	138,921				
Toplam SS	26	1771,646				

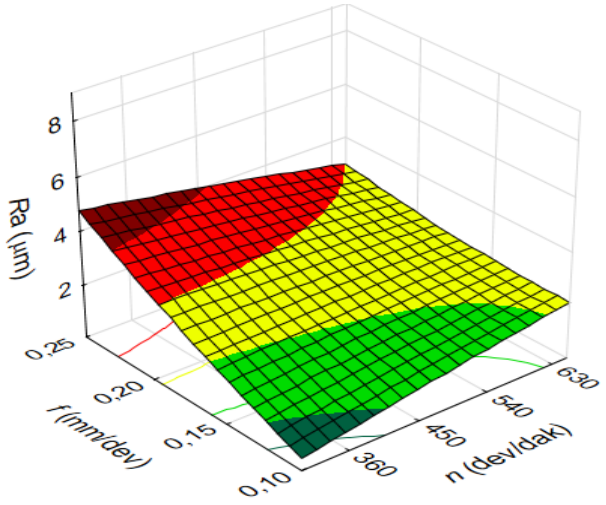
* Dolgulu hücrelere ait parametreler tepki üzerinde %95 güven aralığında etkilidir.

7.2.3. Yüzey Grafik Analizleri

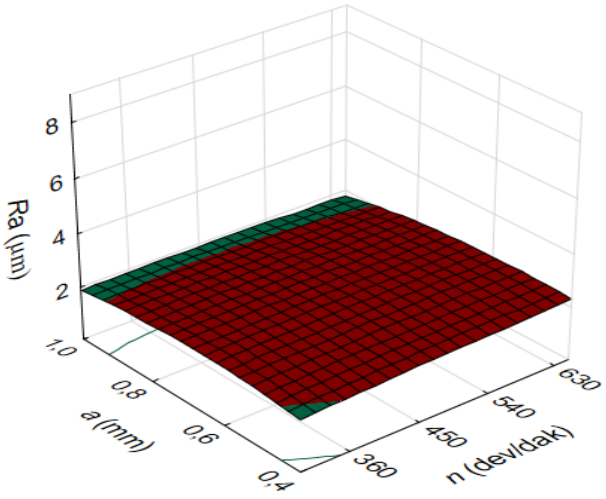
Deney parametrelerinin tepkiler üzerindeki etkilerinin ve optimum parametre kombinasyonlarının tespitinde üst üste çizdirilen 3B izohips yüzey grafiklerini kullanmak, optimizasyon problemlerinin çözümünde tercih edilen bir yaklaşımdır. Her bir izohips eğrisi, bir bağımsız değişken merkezdeyken, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonlarını vermektedir. Grafiklerde aranacak optimum noktalar, grafik içerisinde verilen parametre kombinasyonuna göre pürüzlülüğün en düşük olduğu bölgelerin tespiti şeklinde olacaktır. Cevap yüzeyinin dairesel olması, parametreler arasındaki etkileşimin ihmal edilebilir olduğunu, elips ya da içbükey bükülmüş kesik boru (semer) şeklinde olması parametre etkileşimin önemli olduğunu göstermektedir.

Yapılan bu kabullerin ardından Şekil 7.12 içerisinde verilen grafikler incelendiğinde minimum Ra değerinin oluşması net olarak ilerleme oranı ve devir sayısı değerlerinin en düşük olduğu durumlarda söz konusu olmaktadır. Pürüzlülüğün hesaplanmasında kullanılan en genel kabul görmüş teoride pürüzlülük, ilerlemenin karesi ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla ilerleme azaldıkça pürüzlülükte azalacaktır. Buna paralel, düşük devirlerde meydan gelen süreç sönümleme etkisi, takım ucu salınımını engelleyen bir etken olarak kesme sürecinde kendisini hissettirir. Dolayısıyla süreç sönümleme titreşim azaltıcı bir role sahiptir. Azalan titreşim neticesinde ise pürüzlülük değerinin azalması beklenen bir sonuçtur.

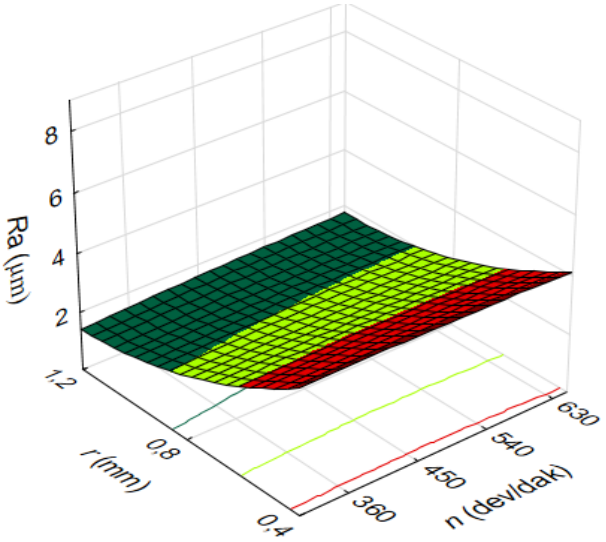
Şekil 7.12 b, d, f grafiklerinden talaş derinliğinin Ra üzerine olan etkisinin son derece düşük olduğu gözlemlenir. Yüksek takım uç radyüsü değerleriyle yapılan kesme işlemlerinde ise Ra tepkilerinin dramatik olarak düştüğü söylenebilir. Bunlara ilaveten devir sayısı-ilerleme oranı, ilerleme oranı-takım uç radyüsü ve talaş derinliği-takım uç radyüsü arası etkileşimlerin pürüzlülük üzerinde etkili kombinasyonlar olduğu görülmüştür.


Ra (µm)
8
6
4
2
0,25
0,20
0,15
0,10
f (mm/dev)
360
450
540
630
n (dev/dak)

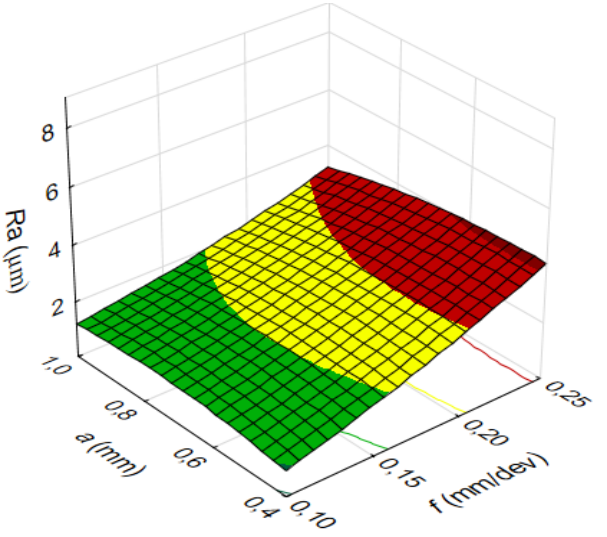
a


Ra (µm)
8
6
4
2
1,0
0,8
0,6
0,4
a (mm)
360
450
540
630
n (dev/dak)

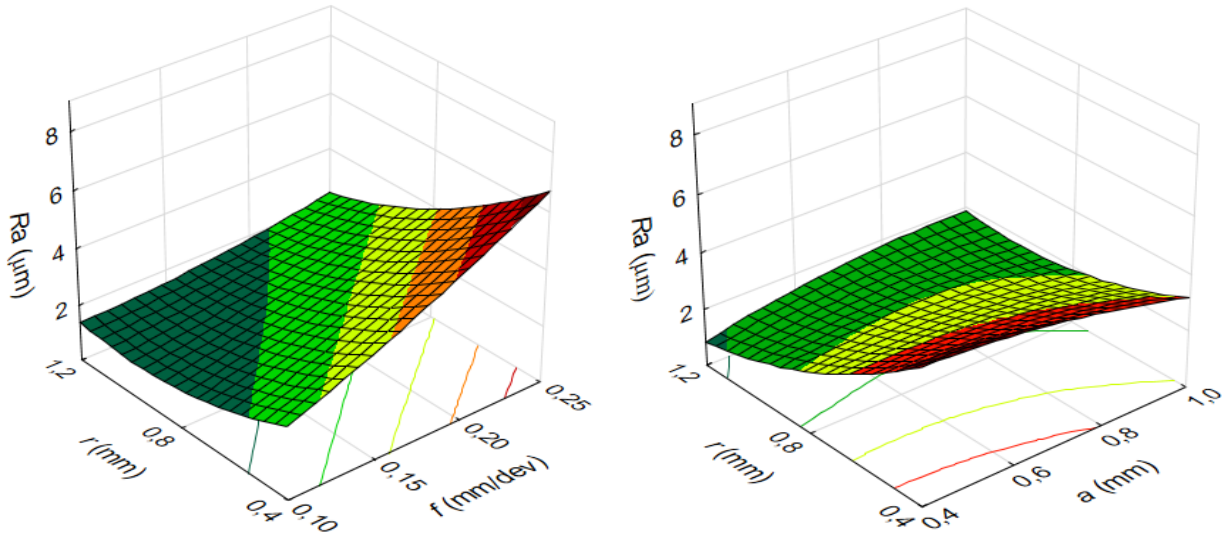
b


Ra (µm)
8
6
4
2
1,2
0,8
0,4
r (mm)
360
450
540
630
n (dev/dak)

c

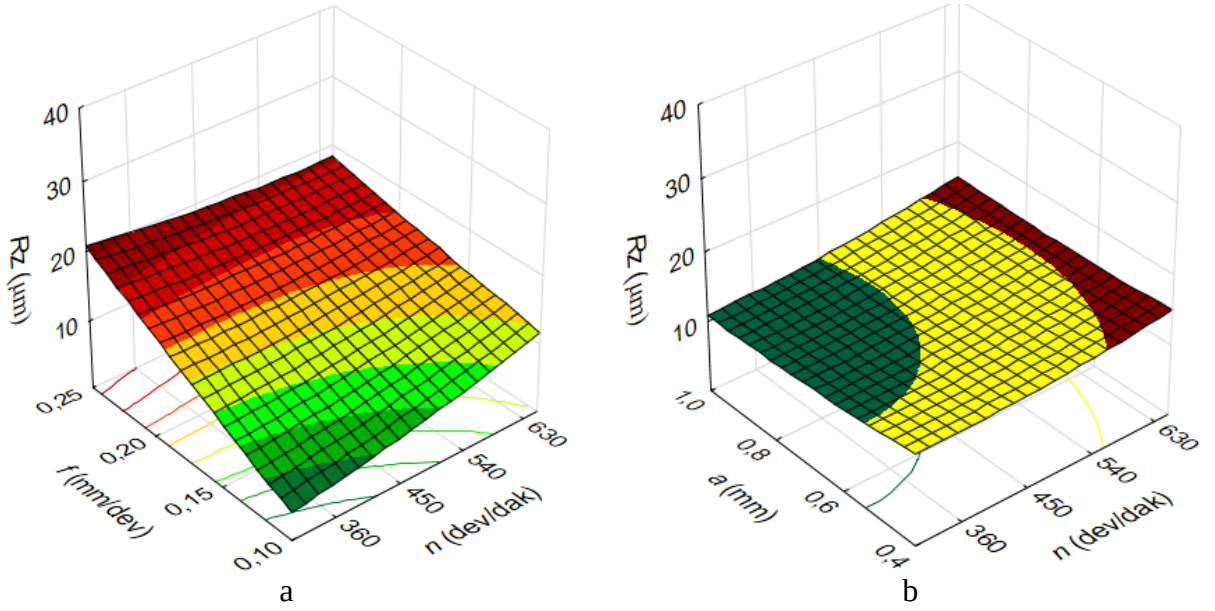

Ra (µm)
8
6
4
2
1,0
0,8
0,6
0,4
a (mm)
0,25
0,20
0,15
0,10
f (mm/dev)

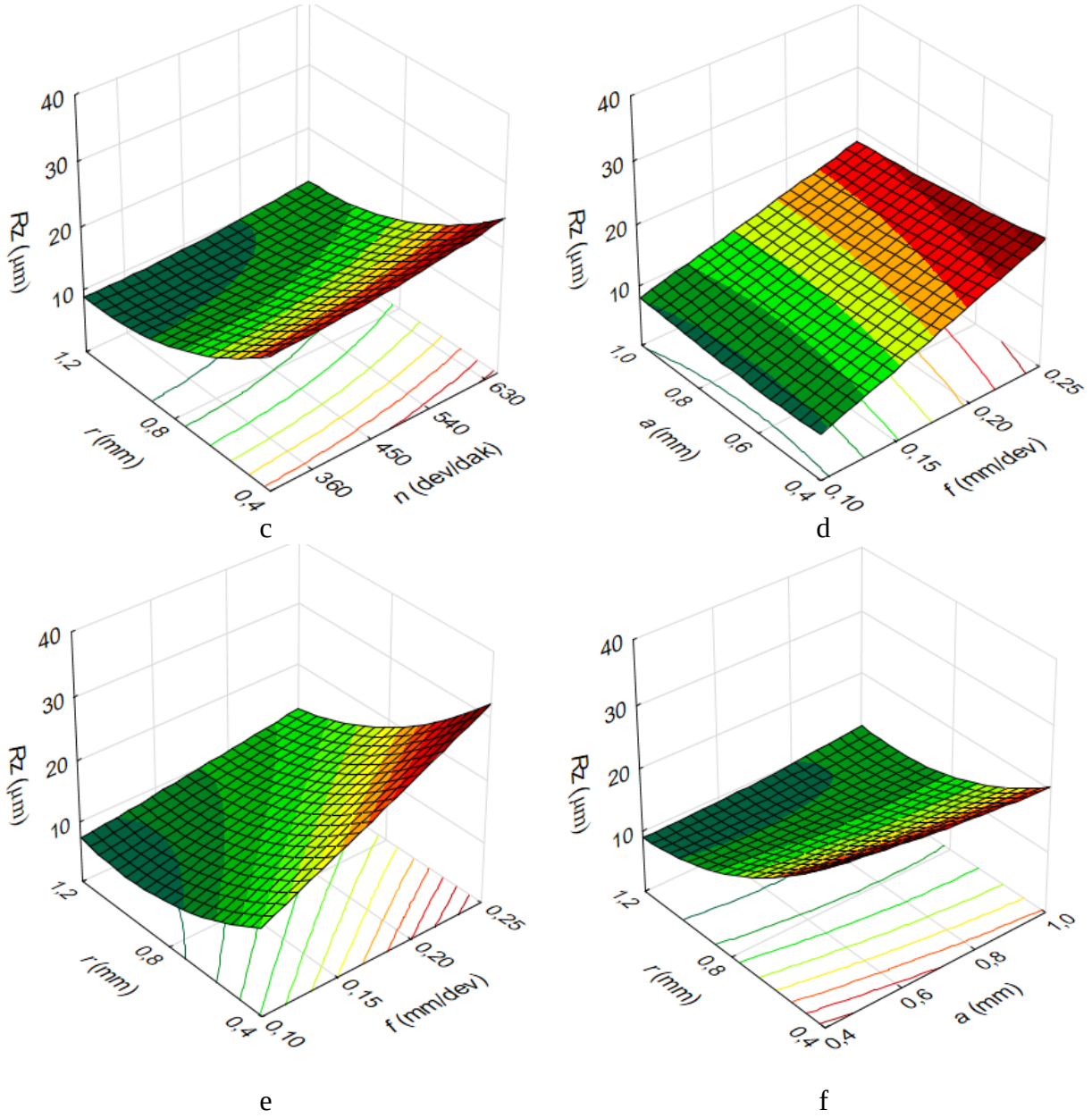
d



Şekil 7.12. Deney parametrelerinin Ra tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi

Şekil 7.13 ile verilen kesme parametrelerinin Rz üzerine olan etkilerini gösteren yüzey grafikleri incelendiğinde yine Ra için geçerli durumlar burada da gözlemlenmiştir. Yani minimum ilerleme ve devir sayısı değerleri için minimum Rz söz konusu olmuş, talaş derinliğinin aşırı bir katkısı gözlemlenmemiştir. Devir sayısı-ilerleme oranı ve ilerleme oranı-takım uç yarıçapı parametre kombinasyonlarının Rz üzerinde sınırlı da olsa etkili olduğu gözlemlenebilir.





Şekil 7.13. Deney parametrelerinin Rz tepkisi üzerine olan etkilerinin kontur ve 3B yüzey grafikleri ile gösterimi

7.2.4. Parametre Optimizasyonu

Deneysel çalışmanın ardından optimizasyon bir gerekliliktir. Her optimizasyon ise belirli kriterlere bağlı olarak yapılır. Bu çalışmada optimizasyon için belirlenen kriter doğrultusunda oluşturulan optimizasyon tablosu Tablo 7.5 ile verilmiştir. Bu tabloda amaç tahmin edilen tepkilere parametre kombinasyonunun etkisini belirlenen kritere bağlı olarak bulmaktır. Tepki olarak değerlendirilen pürüzlülüğün minimize edilmesi, maliyetler ve ürün kalitesi açısından imalatta arzu edilen bir durum olup, optimizasyon kriterini oluşturmaktadır.

Tablo 7.5. Deney parametreleri için kuvvet bileşenlerinin optimizasyonu

Tepkiler	Hedef	Global çözüm				En düşük	Hedef	En yüksek	Tahmin değ.
		n	f	a	r				
Ra	Minimum	318	0.1	0.7	0.8	0.81	0.81	8.207	0.269
Rz	Minimum	318	0.1	0.7	0.8	5.540	5.540	36.523	3.387

Tahmin edilen minimum pürüzlülük değerleri istatistik programı aracılığıyla Tablo 7.5 içinde verilen sağdaki sütunda gösterilmiştir. Bu değerlere ulaşılabilmesi için kullanılması gereken parametre kombinasyonu ise devir sayısı 318 dev/dak, ilerleme 0.1 mm/dev, talaş derinliği 0.5 mm ve takım uç radyüsü 1.2 mm olarak tespit edilmiştir.

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçların değerlendirilmesi

Bu çalışmada, işlenmesi oldukça zor olan Co28Cr6Mo ASTM F1537 sıcak tavlanmış çelikler üzerinde kesme parametreleriyle farklı uç yarıçaplarında yüzey pürüzlülük deneyleri yapılmıştır. CNC tornalama işleminde giriş parametreleri olarak uç yarıçapı (r=0,4-0,8-1,2 mm), işin devri (n=318-477-636 dev/dk), ilerleme (f=0,1-0,15-0,25 mm/dev), talaş derinliği (a=0,5-0,7-0,9 mm) kullanılarak, Ra, Rz ve a_z değerleri ölçülmüş ve sonuçlar teorik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Uç yarıçapının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin genelde azaldığı, uç yarıçapının azalmasıyla da yüzey pürüzlülük değerlerinin genelde arttığı görülmüştür. En düşük pürüzlülük değerleri (Ra, Rz), r=0,8 mm uç yarıçapında, n=318 dev/dk' da, f=0,1 mm/dev ilerleme hızında ve a=0,7 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir. En düşük titreşim değeri ise (a_z= 9,37946 mV/g), r=0,8 mm uç yarıçapında, n=318 dev/dk'da, f=0,25 mm/dev ilerleme hızında ve a=0,9 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir.

Ayrıca kesme parametrelerinin önem durumlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan parametrelerin optimizasyonu ise, Taguchi orthogonal deney tasarımına bağlı cevap yüzey metodolojisi (RSM) ile belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin (Ra, Rz) tahmini için geliştirilen modellerin geçerliliği yaklaşık %92 olarak hesaplanmıştır. Ra için en etkili parametrelerin %38 oranında takım uç yarıçapı, arkasından %33 ile ilerlemenin olduğu, Rz içinse %43 oranla takım uç yarıçapı ve % 33 oranla ilerlemenin olduğu ortaya

konmuştur. Ve en sonunda da minimum yüzey pürüzlülüğünü sağlamak için kullanılması gereken paramaetre kombinasyonu da, devir sayısı 318 dev/dak, ilerleme 0.1 mm/dev, talaş derinliği 0.5 mm ve takım uç radyüsü 1.2 mm olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışma, bu tür işlenmesi zor olan malzemelerin en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma gelecekte yapılacak deneysel ve teorik çalışmalarda ANOVA, RSM'nin ve Taguchi ortogonal dizaynının modellemelerde güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

8.2 Öneriler

1. Yapılan deneyler sonucunda Co28Cr6Mo sıcak tavlanmış çeliğin işlenmesi için MT talaş formunda TT 8020 kalite takım kullanılabilir.

2. Bu deneysel çalışmada tek tip çelik kullanılmıştır. Biyomedikal alanda kullanılan diğer çelikler de işlenerek, bu çeliklerin işlenebilirlik davranışları karşılaştırılabilir.

3. Bu çalışmada, sadece kesme parametrelerine bağlı olarak takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Bunlardan farklı olarak aynı uç yarıçapının kesme kuvvetleri, sıcaklık, aşınma üzerine etkisi ayrı ayrı incelenebilir.

4. Bu çalışmada, tek tip talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar kullanılmıştır. Farklı talaş kırıcı formlara sahip kesici takımlar arasında performans kriterlerinin karşılaştırılması yönünde çalışmalar önerilir.

5. Bu çalışmada, sadece uç yarıçapının yüzey pürüzlülük üzerine etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, titreşim ölçümü de yapılmıştır fakat detaylı olarak incelenmemiştir. Bunun üzerine de çalışmalar önerilir.

9. KAYNAKLAR

Abou-El-Hossein, K.A., Kadirgama, K., Hamdi, M. and Benyounis, K.Y., (2007), Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 182, 241-247.

Akkuş, H., (2010), tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi, *Y.Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aouici, H., Yallese, M.A., Fnides, B., Chaoui, K. and Mabrouki, T., (2011), Modeling and optimization of hard turning of X38CrMoV5-1 steel with CBN tool Machining parameters effects on flank wear and surface roughness, *J. Mech. Sci. Technol.* 25: 2843–2851.

Aouici, H.,Yallese, M.A., Fnides, B., Mabrouki, T., (2010), Machinability investigation in hard turning of AISI H11 hotwork steel with CBN tool Mechanika, Vol. 86, 71-77.

Aruna, M. and Dhanalakshmi, V., (2012), Optimisation of turning parameters of Inconel 718 alloy using RSM, *Int. J. Manufacturing Technology and Management*, Vol. 25, Nos. 1/2/3, pp.113–134.

Aydın, M., Karakuzu, C., Uçar, M., Cengiz, A., Çavuşlu, M.A., (2010), AISI 304 Östenitik Paslanmaz çeliğin kuru tornalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi, *Int J Adv Manuf Techno*, Vol.8, No.2, Balıkesir.

Bonnet, C., Valiorge, F.R., Claudin, F., (2008), Improvement of the numerical modeling in orthogonal dry cutting of an AISI 316L stainless steel by the introduction of a new friction model, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 1: 114-118.

Bordin, A., Ghiotti, A., Bruschi, S., Facchini, L., Bucciotti, F., (2014), Machinability Characteristics of Wrought and EBM CoCrMo Alloys, *Department of Industrıal Engineering,* 14: 89-94.

Bordin, A., Ghiotti, A., Bruschi, S., (2014), The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo Alloy, *Department of Industrıal Engineering,* 13: 219-224.

Bouacha, K., Yallese, M.A., Mabrouki, T. and Rigal J.F., (2010), Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.* 28: 349–361.

Carvalhoa, S.R., Lima e Silvab, S.M.M., Machadoa, A.R., Guimaraes, G., (2006), Temperature determination at the chip–tool interface using an inverse thermal model considering the tool and tool holder, *Journal of Materials Processing Technology*, 179, 97–104.

Ceau, G., Popovıcı, V., Croıtoru, S., (2010), Researces about the temperature of the cutting edge in turning of unalloyed steel, *U.P.B. Sci. Bull Series D,* Vol. 72, Iss. 3.

Ceschini, L., Minak, G., (2008), Fatigue behaviour of low temperature carburised AISI 316L austenitic stainless steel , *Surface and Coatings Technology*, 202: 177-184.

Chavoshi, S.Z., Tajdari, M., (2010), Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool, *International Journal of Material Forming*, vol. 3, no. 4, pp. 233–239.

Chen, W.C., Tsao, C.C. and Lıang, P.W., (1997), Determination of temperature distributions on the rake face of cutting tools using a remote method, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 24, No.2, pp. 161-170.

Çalışkan, H., Kurbanoğlu, C., Panjan, P. and Kramar, D., (2013), Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 66, 5-8.

Çetinçalı, R., (2010), AISI 316L Paslanmaz çeliğin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla işlenilebilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1–90.

Çiftçi, İ., (2005), Östenitik paslanmaz çeliklerin islenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ*, Vol 20, No 2, 205-209.

Dourandish, M., Godlinski, D., Simchi, A., Firouzdor, V., (2008), Sintering of biocompatible P/M Co–Cr–Mo alloy (F-75) forfabrication of porosity-graded composite structures, *Materials Science and Engineering A*, 472, 338–346.

Fredj, N.B., Sidhom, H., (2006), Effects of the cryogenic cooling on fatigue strength of the AISI 304 stainless steel ground component, *Cryogenics*, 46: 439-448.

Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C., (2006), Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using cryogenic cooling, *Surface &Coatings Technology*, 200: 4846-4860.

Gupta, A.K., (2010), Predictive modelling of turning operations using response surface methodolgy, artificial neural networks and support vector regression, *International Journal of Manufacturing Technology*, Volume 48, pp. 763-778.

Gür, A.,Taşkın, M., (2004), Metalik biyomalzemeler ve biyouyum, *Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,* Metal Bölümü-ELAZIĞ.

Güven, Ş.Y., (2010), Ortopedik malzemelerin biyouyumlulukları ve mekanik özelliklerine göre seçimi , *Süleyman demirel üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü,* 32260-Isparta.

Hansda, S.K., (2011), Machinability Study of AISI 316 Grade Austenitic Stainless Steel Using P 30 Grade Cemented Carbide Insert , *Natıonal Instıtute of technology*, rourela, 769008, Indıa.

Hosseinia, S.B., Benob, T., Klementa, U., Kaminskia, J., Ryttberg, K., (2014), Cutting temperatures during hard turning—Measurements and effectson white layer formation in AISI 52100, *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 1293–1300.

Işık, Y., Çakır, M.C., (2001), Hız Çeliği Takımlar için Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Teknoloji Dergisi, Yıl 4, Sayı 1-2, sayfa 111-118.

Izman, S., Rafiq, M., Anwar, M., Nazim, E.M., Rosliza, R. and Hassan, M.A., (2012), Surface Modification Techniques for Biomedical Grade of Titanium Alloys: Oxidation, *Carburization and Ion Implantation Processes,* tati University College, Malaysia.,

Kalhori, V., Modelling and simulation of mechanical cutting, *PhD Thesis Luleå University of Technology*, 2001.

Kavak, N., Üstel, N., (2012), AISI 1040 Çeliğinin Kuru Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, *Karaelmas Science and Engineering Journal,* 2, 24-29.

Kayır, Y., Aytürk, A., (2012), AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin İşlenebilirlik Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Pamukkale üniversitesi Mühendislik bilimleri dergisi*, Ankara, Vol. 18, No. 1, 61-71.

Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ., ve Şeker, U., (2004), Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, *Materials and Design*, 25, 303–305.

Muterlle, P.V., Mıcrostructural and mechanıcal propertıes of Co and Ti alloys for bıomedıcal applıcatıons produced by metal ınjectıon moldıng (MIM), *Department of materials engıneering and ındustrıal technologies,* January 2010.

Nedic, B.P., Eric, M.D., (2013), Cutting Temperature Measurement and Material Machinability, *Faculty of engineering University of Kragujevac*, Vol. 7, No.4, 244-252.

Outeiro, J.C., Dias, A.M., Lebrun, J.L., Astakhov, V.P., (2002), Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameter, *Machining Science and Technology,* 6 (2): 251–270.

Özek, C., Hasçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F., Ünal, E., (2006), Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, University of Firat, *Technical Education Faculty, Department of Manufacturing,*Vol.2, Elazığ.

Özçatalbaş, Y., Ercan, F., (2003), The effects of heat treatment on the machinability of mild steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 227–238.

Park, J.B., Lakes, R.S., (1992), Biomaterial, Planum Pres, *New York and London*, 66-115.

Pasinli, A., (2004), Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 4, 25-34.

Pathade, H.P., Wakchaure, V.D., Experımental ınvestıgatıon of flank wear ın coated carbıde tıpped tool for machınıng, *AISI 304*, (2013).

Ranganath, M.S., Vipin, N. and Harshit, D. (2014), Surface finish monitoring in CNC Turning usıng RSM and Taguchi techniques, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , Vol.4, 2250-2459.

Rieth, M., Falkenstein, A., Graf, P., Heger, S., Jantsch, U., Klimiankou, M., Materna-Morris, E., Zimmermann, H., (2004), Creep of the Austenitic Steel AISI 316L(N) Experiments and models, Karlsruhe.

Sahınoja, M.T., Study of magnesıum metal and ıts alloys as a bıodegradable materıal for medıcal and electrıcal applıcatıons, *Tampere Unıversıty of Technology*, March 2013.

Sahoo, P., (2011), Optimization of turning parameters for surface roughness using RSM and GA, *Advances in Production Engineering & Management*, 6(3), 197-208.

Saini,S., Ahuja, I.S. and Sharma, V.S. (2012), Influence of cutting parameters on tool wear and surface roughness in hard turning of AISI H11 tool steel using ceramic tools, *Int. J. Precis. Eng. Manufact.* 13: 1295–1302.

Saoubi, R.M., Chandrasekaran, H., (2011), Experimental study and modelling of tool temperature distribution in orthogonal cutting of AISI 316L and AISI 3115 steels, *Int J Adv Manuf Technol*, 56: 865–877.

Saoubia, R., Outeirob, J.C., Changeuxa, B., Lebruna, J.L., Dias, A.M., (1999), Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 96: 225-233.

Sarsılmaz, F., (2003), Polimer-Hidroksiapatit Kompozitlerinin Ortopedik Biyomalzeme Olarak Kullanılmasının Araştırılması, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 5-6.

Shihab, K., Zahid A.K., Aas M., Arshad N.S., (2014), RSM Based Study of Cutting Temperature during Hard Turning with Multilayer Coated Carbide Insert Suha, *3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation*, Vol. 39, pp. 1035–1053.

Sullıvan, D.O., Cotterell, M., (2001), Temperature measurements in single point turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 118, 301-308, bishopstown, cork, Ireland.

Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V.N and Samuel, G.L. (2012), Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert, *Int. J. Refract. Metals Hard Mater.* 33: 75–86.

Tekaslan, Ö., Gerger, N., Günay, M., Şeker, U., (2006), *Pamukkale üniversitesi mühendislik fakültesi Mühendislik bilimleri dergisi*, Vol 13, No 2, 135-144.

Xavior, M.A., Adithan, M., (2009), Determining the influence of cutting fluids on toolwear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 900-909.

Yang, S., (2012), Cryogenıc burnıshıng of Co-Cr- Mo Bıomedıcal Alloy for enhanced surface ıntegrıty and ımproved wear performance, *Theses and Dissertations--Mechanical Engineering*. Paper 10.

Yash, M., Bhoyar, R., Kamble, P.D., (2013), *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol.3, Issue.1, Jan-Feb.pp-541-546.

Yeyen, H.E., (2006), AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu (Erişim Tarihi: 06.04.2015)

www.serkanaktashoca.com/ İmalat_islemleri_ii (Erişim Tarihi: 22.03.2015)

www.yıldız.edu.tr/~akdogan/Paslanmaz_Celik_Korozyonu (Erişim Tarihi: 15.03.2015)

10. EKLER

EK-1 Deney Sonuçları

G I R I Ş							ç ı k ı ş							
cap	devir	ilerleme	talaş derin	ax	ay	az	Ra1	Rz1	Ra2	Rz2	Ra3	Rz3	Raort	Rzort
4	318	0,1	0,5	70,90096	65,08865	75,62958	1,7	10,69	1,63	9,63	1,65	10,53	1,66	10,28333
4	318	0,1	0,7	80,839	65,37437	72,56393	1,73	11,11	1,59	10,25	1,51	9,78	1,61	10,38
4	318	0,1	0,9	86,55735	86,42883	63,28312	1,67	9,97	1,52	9,34	1,68	11,4	1,623333	10,23667
4	318	0,15	0,5	48,353	45,68536	52,41804	2,65	16,32	2,31	15,74	2,42	16,12	2,46	16,06
4	318	0,15	0,7	82,54013	80,96857	43,42527	2,33	15,01	2,48	16,9	2,35	14,85	2,386667	15,58667
4	318	0,15	0,9	48,45063	34,89034	54,27033	2,91	16,82	3,03	17,74	2,82	15,81	2,92	16,79
4	318	0,25	0,5	69,41436	53,83828	27,38999	7,54	35,41	7,88	35,11	6,85	33,85	7,423333	34,79
4	318	0,25	0,7	80,43117	74,24075	46,7343	7,1	33,89	7,2	33,92	7,03	28,52	7,11	32,11
4	318	0,25	0,9	73,2114	62,53145	44,39113	8,54	38,59	8,41	37,26	8,36	37,94	8,436667	37,93
4	477	0,1	0,5	90,04477	86,33767	77,54979	1,64	10,85	1,67	9,94	1,7	10,52	1,67	10,43667
4	477	0,1	0,7	33,4638	18,46786	26,41858	3,6	20,88	3,61	19,67	3,69	22,53	3,633333	21,02667
4	477	0,1	0,9	86,31254	55,63038	79,33066	1,66	10,55	1,69	10,77	1,72	11,15	1,69	10,82333
4	477	0,15	0,5	93,1683	41,66802	56,70742	2,48	14,98	2,4	15,56	2,51	16,61	2,463333	15,71667
4	477	0,15	0,7	75,76178	58,73733	67,18329	4,48	24,14	4,36	23,58	4,39	23,64	4,41	23,78667
4	477	0,15	0,9	58,86271	46,27126	47,14712	2,7	15,19	2,65	14,77	2,77	16,01	2,706667	15,32333
4	477	0,25	0,5	45,03147	34,2934	26,18912	8,21	35,59	7,88	35,87	8,53	38,11	8,206667	36,52333
4	477	0,25	0,7	48,75089	30,07061	47,59874	7,69	36,01	8,14	42,34	7,67	35,8	7,833333	38,05
4	477	0,25	0,9	66,33498	40,48334	74,28737	5,61	25,42	5,8	27,39	5,75	25,38	5,72	26,06333
4	636	0,1	0,5	32,67201	26,88802	33,58245	1,23	7,66	1,44	9,08	1,34	8,03	1,336667	8,256667
4	636	0,1	0,7	29,44548	14,77104	36,12233	4,26	22,36	3,63	19,77	4,16	20,46	4,016667	20,86333
4	636	0,1	0,9	91,09565	69,16911	91,39551	1,88	10,93	1,85	11,02	1,92	10,74	1,883333	10,89667
4	636	0,15	0,5	49,85727	28,54966	64,4935	3,27	21,46	3,78	22,83	3,65	23,25	3,566667	22,51333
4	636	0,15	0,7	32,35931	31,34257	60,20643	5,26	27,2	5,07	26,15	5,02	26,42	5,116667	26,59
4	636	0,15	0,9	47,00521	31,08631	39,77125	2,71	15,99	2,84	15,71	2,86	13,96	2,803333	15,22
4	636	0,25	0,5	63,29231	51,4389	51,52054	5	27,32	4,96	27,57	4,58	25,71	4,846667	26,86667
4	636	0,25	0,7	33,07326	46,99877	75,17531	4,48	24,95	4,36	26,03	4,6	26,65	4,48	25,87667
4	636	0,25	0,9	36,58941	21,07068	25,95197	4,81	29,92	4,71	29,19	4,84	31,46	4,786667	30,19
8	318	0,1	0,5	72,63039	56,08344	64,13492	1,91	11,21	1,29	7,85	1,46	9,53	1,553333	9,53
8	318	0,1	0,7	86,02512	38,88123	56,75496	0,79	5,47	0,88	5,79	0,76	5,36	0,81	5,54
8	318	0,1	0,9	94,17048	78,07083	87,17595	1,26	8,39	1,45	9,54	1,32	8,87	1,343333	8,933333
8	318	0,15	0,5	65,88078	63,6235	93,14722	1,6	10,22	1,65	10,65	1,53	9,62	1,593333	10,16333
8	318	0,15	0,7	83,54393	36,55171	75,65236	1,18	7,09	1,23	7,6	1,14	6,78	1,183333	7,156667
8	318	0,15	0,9	90,17192	88,77319	36,89026	1,9	11,77	2,08	11,51	2,28	14,85	2,086667	12,71
8	318	0,25	0,5	58,18048	41,90057	67,02295	3,33	17,86	3,2	16,78	3,3	17,06	3,276667	17,23333
8	318	0,25	0,7	69,75141	59,83538	76,11302	3,64	22,76	3,76	23,98	3,6	21,34	3,666667	22,69333
8	318	0,25	0,9	69,60838	63,50639	70,43318	4,9	20,86	4,93	20,66	4,94	20,59	4,923333	20,70333
8	477	0,1	0,5	44,84775	36,30544	60,15314	1,42	8,93	1,76	11,91	1,59	9,88	1,59	10,24
8	477	0,1	0,7	74,15877	43,21415	72,55775	0,78	4,85	0,9	5,82	0,94	5,85	0,873333	5,506667
8	477	0,1	0,9	48,17782	37,30508	38,02405	0,94	6,36	1,02	7,08	1,07	7,97	1,01	7,136667

8	477	0,15	0,5	59,74174	39,49974	59,74574	1,64	9,96	1,65	10,12	1,74	11,19	1,676667	10,42333
8	477	0,15	0,7	64,84209	33,73732	53,71621	1,61	10,21	1,12	7,93	0,89	5,64	1,206667	7,926667
8	477	0,15	0,9	85,74422	73,08379	85,81659	2,7	14,64	2,63	15,36	2,61	16,02	2,646667	15,34
8	477	0,25	0,5	87,44401	83,15045	53,44464	2,6	14,3	2,94	16,58	2,55	13,39	2,696667	14,75667
8	477	0,25	0,7	81,9009	52,93884	73,59205	2,93	14,33	3,23	18,23	2,95	15,55	3,036667	16,03667
8	477	0,25	0,9	43,97442	32,78069	22,89828	3,52	21,68	3,49	20,41	3,33	19,49	3,446667	20,52667
8	636	0,1	0,5	48,56674	40,02657	46,94356	2,01	14,36	1,63	11,21	1,94	12,7	1,86	12,75667
8	636	0,1	0,7	39,90492	29,67171	37,1655	3,76	24,33	3,48	22,85	3,54	23,13	3,593333	23,43667
8	636	0,1	0,9	28,86067	14,22804	21,42009	1,74	11,39	1,65	10,1	1,77	11,33	1,72	10,94
8	636	0,15	0,5	73,9397	56,57539	78,19309	1,49	9,19	1,5	9,55	1,23	8,13	1,406667	8,956667
8	636	0,15	0,7	40,15808	37,23708	38,78362	1,41	8,37	1,57	9,49	1,27	8,4	1,416667	8,753333
8	636	0,15	0,9	79,76219	72,28956	79,28081	2,41	20,8	2,49	14,26	2,4	14,98	2,433333	16,68
8	636	0,25	0,5	57,05486	53,41299	59,15993	3,17	17,73	3,26	18,57	3,3	18,63	3,243333	18,31
8	636	0,25	0,7	52,84011	57,78126	52,8157	3,13	18,31	3,04	18,25	3,03	16,7	3,066667	17,75333
8	636	0,25	0,9	71,5654	43,0722	47,32925	2,74	16,37	3,34	19,85	2,81	18,06	2,963333	18,09333
12	318	0,1	0,5	66,30659	46,57231	44,10186	1,71	10,28	1,19	8,03	1,16	7,32	1,353333	8,543333
12	318	0,1	0,7	53,91966	52,03096	56,49584	0,89	5,79	0,82	5,59	1,06	6,44	0,923333	5,94
12	318	0,1	0,9	88,02605	50,1413	73,84087	1,08	6,88	1,13	7,2	1	6,51	1,07	6,863333
12	318	0,15	0,5	71,60827	65,70243	63,3447	1,8	11,39	1,87	11,15	1,81	11,03	1,826667	11,19
12	318	0,15	0,7	61,84275	48,87458	67,32388	1,26	7,03	1,12	6,89	1,03	6,25	1,136667	6,723333
12	318	0,15	0,9	59,08595	37,81686	42,40078	1,52	10,84	1,4	10,41	1,3	10,59	1,406667	10,61333
12	318	0,25	0,5	35,87141	34,14607	45,14986	2,52	15,08	2,24	13,06	3,49	21,02	2,75	16,38667
12	318	0,25	0,7	89,04724	93,24341	76,19146	3,03	17,31	2,97	17,21	3,31	18,91	3,103333	17,81
12	318	0,25	0,9	91,30419	89,35174	62,3759	2,49	14,42	2,42	14,68	2,31	15,28	2,406667	14,79333
12	477	0,1	0,5	19,07194	16,8133	29,78467	1,18	7,6	1,42	8,72	1,25	7,5	1,283333	7,94
12	477	0,1	0,7	43,97199	38,20885	50,94457	1,02	6,46	1,52	10,31	1,18	7,14	1,24	7,97
12	477	0,1	0,9	18,48497	6,330167	9,37946	1	6,09	1,06	6,74	0,9	5,54	0,986667	6,123333
12	477	0,15	0,5	24,73297	16,98178	61,67242	0,88	5,89	0,86	5,56	0,83	5,51	0,856667	5,653333
12	477	0,15	0,7	32,02073	24,5858	42,46595	2,58	14,79	2,74	15,68	2,79	14,92	2,703333	15,13
12	477	0,15	0,9	30,01421	11,55125	21,72668	1,14	7,71	1,21	7,93	1,08	7,13	1,143333	7,59
12	477	0,25	0,5	37,23269	33,66473	27,55873	1,96	11,84	2,58	14,51	2,61	14,1	2,383333	13,48333
12	477	0,25	0,7	69,75642	61,47275	50,6146	2,03	11,62	1,89	12,04	1,99	12,88	1,97	12,18
12	477	0,25	0,9	29,2484	21,51794	23,52644	1,87	10,43	2,04	11,54	1,94	10,13	1,95	10,7
12	636	0,1	0,5	85,0002	65,44678	54,55465	1,73	10,83	1,53	9,45	1,81	11,81	1,69	10,69667
12	636	0,1	0,7	27,72084	31,81179	55,83602	1,93	11,67	1,86	11,29	1,77	11,31	1,853333	11,42333
12	636	0,1	0,9	87,79046	47,32045	64,67885	1,32	8,34	1,21	8,42	1,11	7,17	1,213333	7,976667
12	636	0,15	0,5	47,57402	44,44555	65,2719	1,64	10,68	1,69	10,57	1,62	10,64	1,65	10,63
12	636	0,15	0,7	58,95655	66,63996	59,098	1,61	10,32	1,5	9,07	1,77	11,31	1,626667	10,23333
12	636	0,15	0,9	54,26458	33,60532	47,15881	2,59	15,85	2,58	14,57	2,47	13,74	2,546667	14,72
12	636	0,25	0,5	49,03564	42,47462	73,46268	1,51	8,88	1,5	8,7	1,6	9,2	1,536667	8,926667
12	636	0,25	0,7	31,89621	27,9559	36,2992	2,22	14,7	2,19	14,85	2,17	13,78	2,193333	14,44333
12	636	0,25	0,9	39,00254	25,0131	40,13385	4	21,25	4,11	22,01	3,94	21,08	4,016667	21,44667

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Alper İnce
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Beyşehir/Konya - 1989
Telefon : 05457854922
e-mail : mehmet4219@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Beyşehir Lisesi, Beyşehir, Konya	2007
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Konya	2012
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Konya	-
Doktora	:	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-	-	-

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İNGİLİZCE

YAYINLAR*

Ince, M.A., Asiltürk, I., (2015), Effects of Cutting Tool Parameters on Surface Roughness, *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, Vol.4, Issue.8, August, pp 15-22.

Asiltürk, I., Neşeli, S., Ince, M.A., (2015), Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods, *Measurement*, Vol.78, pp 120-128.