T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

TİTANYUM VE INCONEL 718 MALZEMELERİNİN FREZELENMESİNDE TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI

MUSTAFA DURSUN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

GEBZE
2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

TİTANYUM VE INCONEL 718 MALZEMELERİNİN FREZELENMESİNDE TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI

MUSTAFA DURSUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

DANIŞMANI
DOÇ. DR. BABÜR ÖZÇELİK

GEBZE
2007

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11/06/2007 tarih ve 2007/20 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/06/2007 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mustafa DURSUN 'un tez çalışması Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE : Doç. Dr. Metin USTA

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……/…….. sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Titanyum ve Inconel 718 Malzemelerinin Frezelenmesinde Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması.

YAZAR ADI : Mustafa DURSUN

Talaşlı imalat, üretim teknolojisinde çok sık kullanılan bir yöntem olup, imalat sırasında neredeyse tüm mekanik parçalara uygulanmaktadır. Söz konusu imalat yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli etken, üretimin en düşük maliyet ile istenilen kalite de ve standartlara uygun olarak gerçekleştirilmesidir.

Kesici takım ile iş parçası arasındaki ilişkinin, talaş kaldırma parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmesi gereklidir. Bu parametrelerin, talaş kaldırma sırasında iş parçası yüzeyine ve takım aşınması üzerine etkilerinin belirlenmesi, üretim maliyeti ve kalitesi yönünden zorunludur.

Bu çalışmada, kesme parametrelerinin kuru kesme koşulunda ve eş yönlü işleme tekniğiyle, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Araştırma sürecinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, kesici takım olarak; 3 mikron kalınlığında TiAlN kaplı, iki farklı geometriye sahip yekpare karbür parmak frezeler ve iş parçası olarak; ısıl dirençli alaşımlar olan Inconel 718 ve Titanyum malzemeleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması verilerinin istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması hakkında çıkarılabilecek sonuçlar çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, kesme parametreleri ve kesme işleminde kullanılan takımların geometrik özellikleri dikkate alınarak açıklanmıştır. Her iki malzeme ve takımla gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin küçük değerlerinde, düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde takım bozukluk durumlarının incelenmesi sonucunda, en fazla kesici takım aşınmasının köşe radyüsü sıfır olan takımda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

SUMMARY

NAME OF THE THESIS: Research of Tool Wear and Surface Roughness in milling of Inconel 718 and Titanium Materials.

AUTOR NAME : Mustafa DURSUN

Metal cutting is a widely used method in manufacturing technologies and it is mostly applied to all mechanic items. The most important point about the mentioned machining method is to verity the production with the desired quality and appropriate standards by obtaining lowest costs.

The relationship between cutting tool and work piece should be viewed with aspect of metal cutting operation parameters. It is essential to specify the effects of these parameters on the surface of the work piece and wear of the cutting tool during the metal removing for the stiuation of quality and cost of the production.

In this thesis, the effects of cutting parameters on roughness of the surface and tool's wear in dry cutting condition with down milling technique are researched with experiments and statistically. During this search, massive carbide end-mill cutters covered with TiA1N having two different geometries with 3 micron width and thermal resistant alloys Inconel 718 and Titanium are used. According to the results of the experiments; the statistical analysis of the measured surface roughness and tool wear outputs are performed. The conclusions about the surface roughness and tool wear are explained in the view of the material properties, cutting parameters and the cutting tool geometries which are used in the thesis study. By the results of the experiments in which both the material and the cutting tool used; small surface roughness is obtained by the low level of cutting parameters, cutting speed, feed rate and cutting depth. In the performed experiments by the studying of tool wear results has been observed that; the most tool wear happens whit the tools have without a raidus.

TEŞEKKÜR

İki yıl gibi uzun bir süreyi kapsayan bu çalışmada desteklerini esirgemeyen ve beni her konuda aydınlatan, yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği yüksek lisans programında değerli bilgilerini bizlerle paylaşan bölüm öğretim üyelerine ve bölüm başkanımız sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya, deney çalışması sırasında beni yalnız bırakmayan dostum İmran ALTINTAŞ'a ve diğer dostlarıma, teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadar her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

Çalışmamızın faydalı olması dileklerimle.....

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET IV
SUMMARY V
TEŞEKKÜR VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ XI
ŞEKİLLER DİZİNİ XIII
TABLOLAR DİZİNİ XVI
RESİMLER DİZİNİ XVIII
BÖLÜM 1 1
1. 1. Giriş 1
1. 2. Literatür Çalışması 4
1. 3. Talaş Kaldırma Mekaniği 15
1. 4. Metal Malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği 18
1. 4. 1. Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkileri 19
1. 4. 1. 1. Kesme Hızı 19
1. 4. 1. 2. İlerleme 20
1. 4. 1. 3. Kesme Derinliği 20
1. 4. 1. 4. Kesme Koşulu 21
1. 4. 1. 5. Kesme Yöntemi 21
1. 5. Frezeleme 22
1. 5. 1. Çevresel Frezeleme 23
1. 5. 2. Alın Frezeleme 24
1. 5. 3. Zıt Yönlü ve Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi 24
1. 5. 3. 1. Zıt Yönlü Frezeleme Yöntemi 24
1. 5. 3. 2. Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi 25
1. 5. 3. 3. Aynı ve Zıt Yönlü Frezelemenin Karşılaştırılması 26
1. 5. 4. Frezeleme İşleminde Kullanılan Genel Formüller 27
1. 6. Yüksek Hızda İşleme 29
1. 7. Yüzey Kalitesi 33
1. 7. 1. Yüzey Kalitesinin Ölçüm Metodları 33

1. 7. 1. 1. Dalgalılık 33
1. 7. 1. 2. Yüzey Pürüzlülüğü 34
A) R_a, Rq (Ortalama çizgi sistemi) 34
1. 7. 2. Yüzey Kalitesi Gereksinimleri 36
1. 8. Takım Aşınması 36
1. 8. 1. Takım Bozukluk Mekanizmaları 37
1. 8. 1. 1. Serbest Yüzey Aşınması 38
1. 8. 1. 2. Krater Aşınması 39
1. 8. 1. 3. Çentik Aşınması 40
1. 8. 1. 4. Isıl ve Mekanik Çatlaklar 41
1. 8. 1. 5. Ağız Birikimi Oluşumu (BUE) 41
1. 8. 1. 6. Plastik Deformasyon 42
1. 8. 1. 7. Takım Kırılması 42
1. 8. 2. Takım Bozukluk Mekanizmalarının Oluşma Nedenleri 43
1. 8. 2. 1. Adhezyon (yapışma) aşınması 43
1. 8. 2. 2. Abrazyon (sürtünme) aşınması 44
1. 8. 2. 3. Difüzyon aşınması 44
1. 8. 2. 4. Oksidasyon aşınması 45
1. 8. 2. 5. Yorulma 45
1. 9. Yüksek Sıcaklık Çelikleri 46
1. 9. 1. Yüksek Alaşımlı Ostenitik Krom-Nikel Çelikleri 46
1. 9. 2. Nikel ve Nikel Alaşımları 47
1. 9. 2. 1. Saf Nikel 48
1. 9. 2. 2. Süper Alaşımlar (Yüksek Sıcaklık Alaşımları) 48
1. 9. 2. 3. Nikel Esaslı Süper Alaşımlar 49
1. 9. 3. Inconel 718 51
1. 9. 3. 1. Inconel 718 in İşlenebilirliği 53
1. 9. 4. Titanyum ve Alaşımları 55
1. 9. 4. 1. Ticari Saflıkta Titanyum 57
1. 9. 4. 2. Alfa Titanyum Alaşımları 57
1. 9. 4. 3. Beta Titanyum Alaşımları 58
1. 9. 4. 4. Alfa - Beta Titanyum Alaşımları 58
1. 9. 4. 5. Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirliği 59

BÖLÜM 2 62
2. 1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Deneyleri 62
2. 1. 1. Takım Tezgâhı 64
2. 1. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti 66
2. 1. 3. Optik Mikroskop 66
2. 2. Kesici Takımlar 67
2. 2. 1. Takım–1 67
2. 2. 2. Takım–2 69
2. 3. İş Parçası 71
2. 3. 1. Inconel 718 71
2. 3. 2. Titanyum 72
2. 4. Kesme Parametreleri 73
2. 4. 1. Inconel 718 için Kesme Parametreleri 73
2. 4. 1. 1. Takım–1 in Kullanıldığı Deney Tasarımında 73
2. 4. 1. 2. Takım–2 nin Kullanıldığı Deney Tasarımında 75
2. 4. 2. Titanyum için Kesme Parametreleri 76
2. 4. 2. 1. Takım–1 ve Takım–2 nin Kullanıldığı Deney Tasarımlarında 76
2. 5. Deney Tasarımları 79
2. 5. 1. Deney Tasarımı 1 79
2. 5. 2. Deney Tasarımı 2 80
2. 5. 3. Deney Tasarımı 3 81
2. 5. 4. Deney Tasarımı 4 81
2. 5. 5. Deney Tasarımı 5 82
BÖLÜM 3 83
3. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Deneyleri Sonuçları ve Analizleri 83
3. 1. 1. Deney Tasarımı 1 için Sonuçlar ve Analizler 87
3. 1. 1. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri 87
3. 1. 1. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu ... 87
3. 1. 2. Deney Tasarımı 2 için Sonuçlar ve Analizler 92
3. 1. 2. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri 92
3. 1. 2. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu 92
3. 1. 3. Deney Tasarımı 3 için Sonuçlar ve Analizler 97
3. 1. 3. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri 97
3. 1. 3. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu 97

3. 1. 4. Deney Tasarımı 4 için Sonuçlar ve Analizler 102
3. 1. 4. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri 102
3. 1. 4. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu 102
3. 1. 5. Deney Tasarımı 5 için Sonuçlar ve Analizler 106
3. 1. 5. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri 106
3. 1. 5. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu 107
3. 2. Takım Aşınması Ölçüm Deneyleri Sonuçları ve Analizleri 111
3. 2. 1. Deney Tasarımı 1 için Sonuçlar ve Analizler 117
3. 2. 2. Deney Tasarımı 2 için Sonuçlar ve Analizler 121
3. 2. 3. Deney Tasarımı 3 için Sonuçlar ve Analizler 125
3. 2. 4. Deney Tasarımı 4 için Sonuçlar ve Analizler 128
3. 2. 5. Deney Tasarımı 5 için Sonuçlar ve Analizler 132
3. 3. Sonuçlar 136
3. 4. Öneriler 137
KAYNAKLAR DİZİNİ 138
ÖZGEÇMİŞ 144
EKLER 145
Deney Tasarımı 1 için İstatistiksel Analizler 146
Deney Tasarımı 2 için İstatistiksel Analizler 153
Deney Tasarımı 3 için İstatistiksel Analizler 161
Deney Tasarımı 4 için İstatistiksel Analizler 168
Deney Tasarımı 5 için İstatistiksel Analizler 174

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V_c : Kesme hızı

n : Fener mili hızı

V_f : Tabla ilerlemesi

f_z : Diş başına ilerleme

f_n : Devir başına ilerleme

a_p : Kesme derinliği

a_e : İşleme genişliği

D_c : Takım çapı

Q : Talaş kaldırma hızı

k_c : Spesifik kesme kuvveti

h_m : Ortalama talaş kalınlığı

T_c : İşleme zamanı

P_c : Net güç

R_a : Ortalama pürüzlülük parametresi

R_q : Pürüzlülük parametresi

R_t : Maksimum tepe-çukur noktası

W : Dalgalılık

T_m : Malzemenin kelvin cinsinden ergime sıcaklığı

α : Talaş açısı

Φ : Kesme açısı

t_o : Kesme yüzeyi boyunca iş parçasından ayrılacak talaşın kalınlığı

t_c : Kesme işlemi sonucu oluşan talaşın kalınlığı

AISI H : Sıcak iş takım çeliği

AISI D : Soğuk iş takım çeliği

AISI P : Özel amaçlı takım çeliği

CBN : Kübik bor nitrat (Cubic boron nitride)

PCBN : Kristalize kübik bor nitrat (Polycrystaline cubic boron nitride)

BCBN : Bağlayıcılı kübik bor nitrat (Binderless cubic boron nitride)

PVD : Fiziksel buhar biriktirme (Physical vapour deposition)

CVD : Kimyasal buhar biriktirme (Chemical vapour deposition)

NC : Nümerik kontrol (Numeric control)

CNC : Bilgisayarlı nümerik kontrol (Computer numeric control)

CAD : Bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design)

CAM : Bilgisayar destekli imalat (Computer aided manufactaring)

YMK : Yüzey merkezli kübik

SDH : Sıkı Düzenli Hegzagonal

HSP : Hegzagonal sıkı paket

A : Yan kesme derinliği

B : Dik kesme derinliği

C : Kesme hızı

D : İlerleme

p : Hipotez kabul veya red katsayısı

α : İstatistiksel anlamlılık düzeyi

H_o : Sıfır hipotezi

H_1 : Alternatif hipotez

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

1.1. Dik Kesme Modeli. 16
1.2. Eğik Kesme Modeli. 16
1.3. İki boyutlu ortogonal model. 17
1.4. Dikey freze tezgahı (a),Yatay freze tezgahı (b). 22
1.6. Simetrik alın frezeleme (a), Asimetrik alın frezeleme (b). 24
1.7. Zıt yönlü frezeleme şematik gösterimleri. 25
1.8. Aynı yönlü frezeleme şematik gösterimleri. 25
1.9. Formüllerle hesaplanan bazı değerlerin şematik gösterimi. 28
1.10. 1985–2000 yılları arasındaki işleme zaman analizi [Krajnik et al, 2004]. 29
1.11. Bilgisayar destekli imalat akış şeması. 30
1.12. Takım-talaş ara yüzü etkileşimi (a), sıcaklıklar (b), kesme kuvvetleri (c), gerilimler (d) [Russell]. 31
1.13. Dalgalılığın şematik gösterimi. 33
1.14. Ortalama çizgi sistemi (R_a, Rq). 34
1.15. R_z'nin hesaplanmasındaki kullanılacak çukurların şematik gösterimi. 35
1.16. Serbest yüzey aşınması. 38
1.17. Krater aşınması. 39
1.18. Serbest yüzey aşınması ve krater aşınmasının iki boyutlu çizimi. 39
1.19. Çentik aşınması. 40
1.20. Ağız birikimi oluşumu. 41
1.21. Plastik deformasyon. 42
1.22. Adhezyon aşınmasının meydana gelişi. 43
1.23. Sürtünme aşınması mekanizması. 44
1.24. Difüzyon aşınması 45
2.1. Kesme işlemi için işleme tekniği. 62
2.2. Deneyler tamamlandıktan sonra Inconel 718 iş parçasında oluşan geometri. 63
2.3. Deneyler tamamlandıktan sonra titanyum iş parçasında oluşan geometri. 63
2.4. Kesici takım, takım–1'in geometrisi. 67
2.5. Kesici takım, takım–1'in teknik resmi. 68

2.6. Kesici takım, takım–2'nin geometrisi. 69
2.7. Kesici takım, takım–2'nin teknik resmi. 70
2.8. İş parçasından işlenen yüzeyin boyutları ve toplam kesme derinliği. 72
3.1. Deney tasarımı 1, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 89
3.2. Deney tasarımı 1'de; yan kesme derinliğinin R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve ilerlemenin ortak etkisi (c), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve kesme hızının ortak etkisi (d). 91
3.3. Deney tasarımı 2, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 94
3.4. Deney tasarımı 2'de; kesme hızının R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (d). 96
3.5. Deney tasarımı 3, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 99
3.6. Deney tasarımı 3'de; ilerlemenin R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde ilerlemenin ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde ilerleme ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c), R_a üzerinde ilerlemenin ve kesme hızının ortak etkisi (d). 101
3.7. Deney tasarımı 4, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 104
3.8. Deney tasarımı 4'de; R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c). 106
3.9. Deney tasarımı 5, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi 109
3.10. Deney tasarımı 5'de; R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (c). 110
3.11. Parmak frezeleme kesicileri ve kanallı deliciler üstündeki aşınma. 112
3.12. (a) Düzenli yanak aşınması (VB1), (b) Düzensiz yanak aşınması (VB2), (c) Bölgesel yan aşınma (VB3). 112
3.13. (a) Krater aşınması (KT1), (b) Basamaklı yüz aşınması (KT2). 113
3.14. (a) Düzenli çentiklenme (CH1), (b) Düzensiz çentiklenme (CH2), (c) Bölgesel çentiklenme (CH3). 114
3.15. Pullanma. 114
3.16. (a) Tarak dişi şeklinde çatlaklar, (b) Paralel çatlaklar, (c) Düzensiz çatlaklar. 115

3.17. Tam bozulma durumu. 115
3.18. Beşinci deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen tam bozulma durumu. 118
3.20. Titanyum'un, takım–1 ile işlenmesinde, 1. deney sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (a), 8. deney sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (b) . 122
3.21. Deney tasarımı 2'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 122
3.22. Deney tasarımı 3'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 125
3.23. Deney tasarımı 4'de gerçekleştirilen 1.deney sonrası takım kesme kenarında meydana gelen çentiklenme (a), 2. deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen tam bozulma durumu. 129
3.24. Deney tasarımı 4'de gerçekleştirilen 1.deney sonrası oluşan basamaklı yüz aşınması (a), 2. deney sonrası gerçekleşen basamaklı yüz aşınması. 129
3.25. Titanyum'un takım–1 ile işlenmesinde, deney tasarımı 1'in 1. deneyi sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (a), deney tasarımı 5'in 8. deneyi sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (b) . 133
3.26. Deney tasarımı 5'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi. 133

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo **Sayfa**

1.1. Nikelin fiziksel ve mekaniksel özellikleri. 47
1.2. Inconel 718'in kimyasal bileşim sınırları, %. 51
1.3. Inconel 718'in kimyasal ve fiziksel özellikleri. 52
2.1. Yüzey pürüzlülüğü cihazına ait teknik özellikler. 66
2.2. Inconel 718'in kimyasal bileşimi. 71
2.4. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–1' in kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri. 73
2.5. Inconel 718'in işlenmesinde, takım-1 için kesme hızının dev/dak ve ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri. 74
2.6. Inconel 718'in işlenmesinde, kesici takım 1 için önerilen ilerleme ve kesme hızları. 74
2.7. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–2' nin kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri. 75
2.8. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–2 için kesme hızının dev/dak, ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri. 75
2.9. Inconel 718'in işlenmesinde, kesici takım-2 için önerilen ilerleme ve kesme hızları. 76
2.10. Titanyumun işlenmesinde, kesici takım 1 ve 2 için önerilen ilerleme ve kesme hızları. 77
2.11. Titanyumun işlenmesinde, takım–1 ve 2' nin kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri. 78
2.12. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–1 ve 2 için kesme hızının dev/dak ve ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri. 78
2.13. Deneyler için oluşturulan deney matrisi. 79
2.14. Deney tasarımı 1 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi. 80
2.15. Deney tasarımı 2 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi. 80

2.16. Deney tasarımı 3 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi. 81
2.17. Deney tasarımı 4 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi. 81
2.18. Deney tasarımı 5 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi 82
3.1. Deney tasarımı 1 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları. 87
3.2. Deney tasarımı 2 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları. 92
3.3. Deney tasarımı 3 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)sonuçları. 97
3.4. Deney tasarımı 4 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları. 102
3.5. Deney tasarımı 5 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları. 107
3.6. Inconel 718'in takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 120
3.7. Titanyum'un takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 123
3.8. Titanyum'un takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 124
3.9. Titanyum'un takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 126
3.10. Titanyum'un takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 127
3.11. Inconel'in takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 130
3.12. Inconel'in takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 131
3.13. Titanyum'un deney tasarımı–2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 134
3.14. Titanyum'un deney tasarımı-2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri. 135

RESİMLER DİZİNİ

Resim **Sayfa**

2.1. Deneysel çalışmada kullanılan takım tezgâhı. 65

2.2. Takım aşınmasının tespitinde kullanılan optik mikroskop. 66

BÖLÜM 1

1. 1. Giriş

Dünyada bilimsel ve teknolojik gelişmeler hızla devam etmekte, Ar-Ge çalışmaları ile yeni teknolojik gelişmeler sağlanmaktadır. Gelişmekte olan yeni teknolojilerin yardımı ile insanların ihtiyacı olan mal ve ürünler de değişmekte ve gelişmektedir. Sanayi adı verilen, mal ve ürünlerin üretildiği ortamlar her geçen gün kendini yenilemekte, modern makine, teçhizat ve üretim yöntemleri ile tanışmaktadır. Örnek olarak bugün NC (Nümerik Kontrollü) ve CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrollü) takım tezgâhlarının gelişimi sayesinde talaşlı imalat yöntemlerindeki üretim kapasitelerinin artması, imalat maliyetinin azalması, daha kaliteli imalatın gerçekleşmesi, daha karmaşık geometrik şekle sahip iş parçalarının istenilen hassasiyette ve yüzey kalitesinde üretilebilmesi sağlanmaktadır. Böylece bilimsel ve teknolojik gelişmelerin üretime aktarılması, sanayide kullanılmasıyla ilgilenen imalat mühendisliği, üretim faaliyetlerinde çok önemli bir konuma gelmiştir [Akkurt, 2004. Aslan, 2005. Gülmez, 2003. Lacalle, 2000. Şahin, 2000].

Teknolojik gelişmelerdeki yeniliklere paralel olarak yüksek kesme hızlarına ve yüksek aşınma dirençlerine sahip kesici takımların üretilmesi, bu bağlamda işlenebilirliği zor olan malzemelerin, talaşlı imalat sektöründe daha fazla kullanılmaya başlanması, talaş kaldırma işleminde kesme parametrelerinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Frezeleme işlemi diğer talaşlı imalat işlemlerine göre farklı karakteristik özellikler göstermektedir. Talaş kaldırma esnasında kesici takımın kavrama açısı, talaş derinliği ve ilerleme miktarına göre talaş kesitinin sürekli değişken olması, kesintili talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesinden dolayı yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerleri farklılık arz etmektedir[Akkurt, 2004. Aslan, 2005. Gülmez, 2003. Lacalle, 2000. Şahin, 2000].

Talaşlı imalat işleminde işlenebilirliğin belirlenmesine çalışılması, işlenecek malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliğine uygun, kesici takım malzemelerinin ve

kesici takım geometrisinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Böylece farklı özelliklere sahip malzemelerin, talaşlı imalat işlemlerinde, değişik takımlar ve talaş kaldırma parametreleri kullanılarak tespit edilen takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı, mikro sertlik ve artık gerilmeler vb. değerleri değerlendirilerek işlenebilirlilik veri tabloları oluşturulmaktadır.

Talaşlı imalatta, her türlü talaş kaldırma işleminde, istenilen kalitede bir yüzey elde edebilmek için bir çok kesme parametresinin optimum şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Freze tezgâhlarında yapılan imalatın yüzey pürüzlüğü açısından kalitesi, iş parçası malzemesi ve kesici takımın yapısı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca işlenecek malzeme ve kesme işleminde kullanılacak takımın cinsi, malzemesi ve geometrisine bağlı olarak kesme hızı, kesme derinlikleri ve ilerleme değerleri farklılık arz eder. Bu değerler arasındaki ilişkiler iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmez ise, işleme sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerine bağlı olarak takım aşınması değerleri değişme göstermektedir [Akkurt, 2004. Aslan, 2005. Gülmez, 2003].

Metal kesme işlemi sırasında kesici takımın iş parçasına uyguladığı etkiye karşılık, kesici takım deformasyona uğrayabilmektedir. Aynı şekilde iş parçasından talaş kaldırma esnasında, kesici takıma karşı göstermiş olduğu zorluğa karşılık, iş parçası da deformasyona maruz kalır. Söz konusu deformasyonlarda işleme sırasında kullanılan iş parçasının ve kesici takımın malzeme özellikleri de oldukça önemlidir. Metal kesme işlemi sırasında genellikle talaş - takım ara yüzeyindeki sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklıklar sebebiyle takım aşınması oluşmaktadır. Metal kesme işleminde kullanılan iş parçası malzemesinin, özellikle yüksek sıcaklıkta yüksek sertliğe ve gerilime sahip yüksek sıcaklık çeliklerinden birisi olması durumunda kesme sırasında ortaya çıkan ısı artmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklık çeliklerinin malzeme özelliklerinden dolayı iş parçasını etkilememekte ancak kesici takım üzerinde olumsuz etkiler meydana gelebilmektedir. Takım aşınmasını geciktirmek ve takım ömrünü artırmak için yeni takım malzemeleri kullanılmakta, takım yüzeylerine kaplamalar yapılmakta ve kesici takım performansını artırmak için farklı geometrilerde takımlar imal edilmektedir[Akkurt, 2004. Aslan, 2005. Gülmez, 2003. Lacalle, 2000. Şahin, 2000].

Bu nedenlerden dolayı kesici takımın, kesme işlemi esnasında iş parçasıyla temasta oluğu noktada, meydana gelen deformasyonlar iş parçasının yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yani iş parçasının yüzey kalitesi; iş parçasının malzemesi, kesme parametrelerine ve kesici takım geometrisi, malzemesi ve kaplamasına bağlı olmaktadır [Dudzinski, 2004].

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, iki farklı takım ve malzeme kullanılmış ve kesme parametrelerine bağlı olarak da iş parçalarındaki yüzey pürüzlülüğü ve takımlarda meydana gelen aşınma değerleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar için 5 farklı deney tasarımı oluşturulmuştur. Bu deney tasarımlarının her birinde, farklı malzeme ve takım grupları kullanılmış ve sekiz deney gerçekleştirilmiştir. Söz konusu araştırma sonucunda elde edilen takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve birbirleri arasındaki ilişkinin tespiti için regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda ortaya çıkan en önemli sonuç, kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin küçük değerlerinde, düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmesidir. Yine gerçekleştirilen deneylerde, takım bozukluk durumlarının incelenmesi sonucunda ise en fazla kesici takım aşınmasının, köşe radyüsü sıfır olan takımda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması verilerinin değerlendirilmesi ile ortaya çıkan sonuçlar çalışmada ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

1. 2. Literatür Çalışması

Toh'un yaptığı çalışmada, kesme derinliği kazancını anlamak için yapılan statik ve dinamik kesme kuvveti ile kuvvet değişimi incelemeleri açıklanmakta ve karşılaştırılmaktadır. Çalışmada iş parçası olarak AISI H13 sıcak iş çeliği, takım olarakta TiAlN kaplı tungsten karbür parmak freze kullanılmıştır. Araştırma sırasında eş yönlü ve zıt yönlü işleme tekniklerinin etkileri de dikkate alınmıştır. Bu tekniklerin kuvvet bileşenleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve buna bağlı olarak da takım aşınması ve takım ömrü değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, takım aşınmasının yavaş bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bütün kesme derinliklerinde, frezeleme yöntemleri ile kesme kuvvetleri bileşkesi ve normal statik kuvvet F_y arasında yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki eğer kesme kuvveti büyüklüğü düşürülmezse aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemi takım aşınmasında aynı sonuçları vermektedir. Yapılan statik ve dinamik kuvvet analizlerinin sonuçları, kesme uzunluğuna dik kesme kuvvetinin, takım aşınması ve kesme koşulları üzerinde hassas bir değer olduğunu göstermiştir [Toh, 2004].

Ghanil ve arkadaşlarının yapmış oldukları araştırmada, TiN kaplı karbür takımın performansı, AISI H13 takım çeliğinin yüksek kesme hızında yüzey frezelenmesi ile değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin takım ömrü üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar takım ömrü üzerinde, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüksek etkisi olduğunu göstermiştir. Takım ömrünün kesme hızından önemli derecede etkilenmediğinden bahsedilmiş ve bunun tersi bir durumun yüksek kesme hızıyla birlikte yüksek kesme derinliği ve ilerleme kullanıldığında takımın zayıflığından kaynaklanan çatlak ve kırılmalardan olabileceği yorumu yapılmıştır. Sonuç olarakta takım ömrünü; yüksek kesme derinliği ve ilerlemelerden kaynaklanan kesme kenarındaki kırılmaların, yüksek kesme hızı sonucunda açığa çıkan sıcaklıktan dolayı kaynaklanan takım aşınmasından, daha fazla etkilendiği söylenmiştir [Ghanil et al, 2004].

Aslan çalışmasında, farklı kesme takımlarının, parmak frezeleme sırasındaki aşınma ve performans davranışlarını incelemiştir. Deneylerde iş parçası olarak AISI

D3 soğuk iş takım çeliği ve yüksek hızda işleme tekniği sistemini kullanmıştır. Çalışmasında yapmış olduğu deneylerin amacı, TiCN kaplı tungsten karbür, TiAlN kaplı sermet, Al_2O_3+TiCN ile karışık seramik ve CBN takımların aşınmasını incelemektir. Takım performansı değerlendirilmesi, bitiş yüzeyi ve serbest yüzey aşınması üzerinden yapılmıştır. Serbest yüzey aşınması, elektron tarama mikroskobuyla incelenmiş ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sonuçta yüzey pürüzlülüğünün ve bitiş yüzeyinin birlikte değerlendirilmesiyle CBN takımların en iyi performansı sergilediği belirlenmiştir. En yüksek metal kaldırma hacmi CBN takımlarla elde edilmiştir [Aslan, 2005].

Su ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada, çeşitli soğutma-yağlama koşullarında takım ömrünü geliştirecek en iyi soğutma-yağlama koşulunu bulmak amaçlanmıştır. Deneyler Ti-6Al-4V iş parçasının yüksek hızda parmak frezelenmesinde, karbür kaplı takımlar kullanılarak, kuru, normal soğutma, nitrojen-yağ dumanı, basınçlı soğuk nitrojen gazı ve basınçlı soğuk nitrojen gaz –yağ dumanı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, basınçlı soğuk nitrojen gaz –yağ dumanı kesme koşulunun en iyi takım ömrünü sağlayan kesme koşulu olduğunu göstermiştir. Bütün kesme koşulları altında serbest yüzey aşınmasının, en baskım takım bozukluk mekanizması olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma-yağlama koşullarında difüzyon ve yorulmanın takımların aşınma mekanizmasının temel nedenleri olduğu söylenmiştir [Su et al, 2006].

Budak araştırmasında yüksek performanslı frezeleme için yapısal deformasyonlar, tolerans doğruluğu ve kesme kuvvetlerinin analitik modellemesini gerçekleştirmiştir. İki bölümlü olarak yayınladığı araştırmasında frezeleme kuvveti, parça ve takım sapmaları, biçim hataları ve kararlılık modelleri sunulmuştur. Birinci bölümde kesme kuvveti, sapma ve biçim hatalarının modellenmesi üzerine odaklanılmıştır. İşleme değişkenleri olan kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve mil hızının optimize edilmesinde, modellerin kullanımı deneyler ve simülasyonlar tarafından ispat edilerek çalışma tamamlanmıştır [Budak, 2006].

Rahman ve arkadaşların yaptığı incelemede soğutulmuş havanın işleme performansı üzerine etkileri, AISI P20 takım çeliği ile tungsten karbür takım ucu

kullanılarak parmak frezeleme işleminde anlaşılmaya çalışılmıştır. Deneylerde farklı kesme derinlikleri, ilerlemeler, kesme hızları ve kesme koşulları kullanılmıştır. Deneylerde kesme işlemi; soğutulmuş hava, normal soğutma ve kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir. Kesme koşullarının performansı; takım aşınması, bitiş yüzeyi, kesme kuvvetleri ve talaş şekli üzerinden değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, soğutulmuş hava kullanımının diğer kesme koşullarıyla karşılaştırıldığı zaman; takım aşınması, bitiş yüzeyi ve kesme kuvvetlerinde düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir [Rahman et al, 2003].

Iqbal ve diğerleri yaptıkları araştırmada, sert frezeleme uygulamalarında takım ömrü ve iş parçası yüzey kalitesini artırmayı amaçlamışlardır. Frezeleme parametrelerinin optimizasyonunu için deney datalarını ANOVA ve sayısal optimizasyon kullanılarak yararlı bilgilere dönüştürmüşlerdir. Bu çalışmada, sert-frezeleme deneyleri, iş parçası malzeme sertliğinin, kesici helis açısının, frezeleme tekniğinin ve soğutma sıvısının takım ömrü, iş parçası yüzey pürüzlülüğü değeri ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerinin araştırılması için gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, takım ömrü üzerinde iş parçası sertliğinin ve frezeleme yönteminin önemli derecede etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Eğer AISI D2 (52–62 HRc) çeliğinin yüksek hızda işlenmesinde, parmak frezenin yüksek helis açısı, aynı yönlü frezeleme yöntemi ve en az miktarda yağlama kullanılırsa takım ömrünün en uzun değerine ulaşabileceğinden bahsedilmiştir [Igbal et al, 2006].

Wang ve Zheng çalışmalarında, 41 ve 20 HRc sertliklerindeki AISI H13 takım çeliğinin, TiAlN kaplı tungsten karbür küresel parmak freze ile işlenmesi durumunda, işleme karakteristiklerini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Frezeleme deneyleri sonucunda elde edilen frezeleme kuvveti, talaş formu ve yüzey pürüzlülüğü değerleri işleme karakteristiklerini belirtmektedir. Deneylerde kesme hızı, kesme derinliği ve kesici geometrisi değerleri sabit alınmış, iş parçası sertliği ve ilerleme değerleri değiştirilmiştir. Küresel parmak frezeleme işlemindeki karakteristik farklılıkların, malzeme sertliğinin etkilerinden dolayı kaynaklandığı gösterilmiştir [Wang and Zheng, 2003].

Fallböhmer ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, dövme hacim kalıpçılığında kullanılan çelik alaşımları ve dökme demirlerin yüksek performansta işlenmesinde yürürlükte olan ilerlemeler sunulmakta ve yüksek hızda kesme teknolojisinin gözden geçirilmesi özetlenmektedir. Çalışma şu konuları kapsamaktadır.

a. Sert malzemelerin yüksek hızda frezelenmesinde, takım ömrü ve takım bozukluklarının teorik ve deneysel çalışılmasını.

b. Yontularak yüzeylerin işlenmesinde, yaklaşık olarak talaş yükü sabit tutularak mil devri ve ilerleme hızı ayarlanarak CNC programların optimizasyonu.

c. Talaş akışının, kesici takımdaki gerilmenin ve sıcaklığın ayrıca işlemiş yüzeydeki artık gerilmelerin tahmini.

Deneysel çalışmalarda AISI H13 ve P20 takım çelikleri ile kaplı ve kaplamasız karbür takımlar ile PCBN takım kullanılmıştır [Fallböhmer et al, 2000].

Nalbant ve diğerleri, nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 malzemesini, iki farklı geometride ve üç farklı malzeme kalitesinde seramik takımlar kullanılarak kuru kesme koşulunda CNC tornada işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı olarak 150, 200, 250 ve 300 mm/dak değerleri alınmış, kesme derinliği 2mm, ilerleme 0.20 mm/dev değerlerinde sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda, kesme takımı geometrisinin, malzeme kalitesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Araştırma sonucunda, kesme kuvvetlerinin büyük ölçüde takım geometrisine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Kesme hızının etkisi kuvvetler üzerinde fazla olmamakla birlikte kesme hızının artışıyla kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. Ayrıca yüksek kesme hızların da plastik deformasyon, serbest yüzey aşınması, çentik ve yığılma kenarı takım bozukluk durumları gözlemlenmiştir [Nalbant ve ark., 2006].

Jawaid ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarında, özdeş geometriye sahip iki PVD ile TiN kaplı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımın kesme performansı ve bozukluk özelliklerini, Inconel 718 malzemesinin kullanılmasıyla incelemişlerdir. Deneyler, yüzey frezeleme işlemiyle soğutmalı kesme koşulunda gerçekleştirilerek, kesme ve ilerleme hızının takım performansı üzerindeki etkileri

incelenmiştir. Kaplamalı takımdan beklenen sonuç alınamamıştır. Çünkü kesmenin başlangıcında kaplamada tabakalar halinde iş parçası malzemesine yapışmalar gözlenmiş bunu neticesinde de deneylerin geri kalanında takım performansı engellenmiştir. Sonuç olarak, serbest yüzey aşınması ve ufalanma birleşiminin takım bozuklukluğunun genel durumu olduğu söylenmiştir. Kaplamasız takımlar düşük hızlarda kaplamalı takımlara göre daha iyi performans gösterirken, kaplamalı takımların hız yükseldiği zaman biraz daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir [Jawaid et all, 2001].

Arunachalam ve diğerleri yapmış oldukları bu çalışmada, ısıl dirençli süper alaşımların ileri kesme takımları (CBN ve Seramik) kullanılarak işlendiği zaman verimlilik artışı sonuçları incelenmiştir. Bununla birlikte Inconel 718'in tornada yüzey işlenmesi durumunda kesme takımlarının, yüzey pürüzlülüğü, özellikle de artık gerilme oluşturma üzerinde etkileri araştırılmıştır. Artık gerilmelerin ve yüzey pürüzlülüğünün oluşumu; hız, kesme derinliği, soğutma, takım geometrisi ve takım kaplama yapısı veya türü koşullarıyla birlikte incelenmiştir. Araştırma sonucunda, seramik takımların daha büyük artık gerilmelere sebep olduğu belirlenmiştir. CBN kesme takımlarının ürettiği yüzey pürüzlülüğü ve artık gerilmelerde kesme hızının kesme derinliğinden daha fazla duyarlı olduğu söylenmektedir. İnceleme sonucunda araştırmacılar CBN kesme takımlarının düşük kesme hızlarında (150 m/dak) ve küçük kesme derinliklerinde (0.05 mm) soğutma ile kullanılmasını düşük artık gerilmeler ve iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmek için önermektedirler [Arunachalam et al, 2004].

Sharman ve arkadaşları araştırmalarında, TiAlN ve CrN kaplı tungsten karbür küresel parmak frezeler kullanılarak Inconel 718'in işlenebilirliği üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar üç faktör iki bölüm bütün çarpım tekniğiyle düzenlenmiştir. Deneysel çalışmalarda iş parçası 45^o ve 60^o eğimle konumlandırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, en uzun takım ömrü 90 m/dak kesme hızıyla TiAlN kaplı takımla elde edilmiştir. En uzun takım ömrü elde edildiğinde iş parçasının konumu 45^o durumundadır. Takım kaplaması seçiminin, takım ömrünü artırmakta ana faktör olduğu belirtilmiştir. İş parçasının konumu 60^o iken daha büyük takım sapması açığa çıktığı ve bu durumunda çentik ve ufalanma aşınmasını artırdığı

belirtilmiştir. İşleme sırasında öncelikli takım aşınması Adheziv şeklinde olmaktadır. Sonuçlar ANOVA tekniği ile değerlendirilmiştir [Sharman et al, 2001].

Alauddin ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları bu çalışmada, zıt ve eş yönlü frezeleme durumunda yarı-daldırma parmak freze için ortalama kesme kuvvetleri üzerindeki işleme koşullarının (hız, ilerleme, dik kesme derinliği) etkileri incelenmiştir. Kesme deneyleri kuru şart altında karbür takma uçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, kesme hızının artışıyla zıt ve eş yönlü frezelemede kesme kuvvetleri düşüş göstermiştir. Kesme kuvvetleri, ilerleme hızının ve dik kesme derinliğinin artmasıyla birlikte her iki frezeleme yönteminde de artış göstermiştir. Kesme kuvveti bileşeni F_x eş yönlü frezelemede yüksek iken, zıt yönlü frezelemede F_y bileşeni yüksek olmuştur [Alauddin et al, 1998].

Kuo ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, küresel uçlu parmak freze için temel kuvvet modeli geliştirilmiştir. Yapılan deney çalışmalarıyla kesme kuvvetleri analiz edilmiştir. Çalışma, kuru ve soğutmalı işleme şartlarında TiN kaplamalı ve K malzeme tipi kaplamasız takımlar kullanılarak değişik işleme koşularında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda kesme kuvvetleri, takım ömrü ve talaş oluşumu değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda kaplamalı takımların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Kuru kesme koşulunda ilerleme hızının artışıyla birlikte kesme kuvvetlerinin artmakta olduğu belirtilmiştir. Bu kuvvet artışının K malzeme tipi takımda daha fazla olduğu söylenmiştir. Inconel 718'in işlenmesinde soğutmalı kesmenin TiN kaplı takımlar kullanılarak yapılmasının daha iyi sonuçlar vereceği dile getirilmiştir. Inconel 718'in kesilmesinde yüksek hızda ilerlemenin düşük hızda ilerlemeden daha iyi olduğu belirtilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlarda birbiriyle karşılaştırılmıştır [Kuo et al, 2006].

Dudzinski ve arkadaşlarının incelemesinde, Inconel 718 malzemesi üzerinde odaklanılmış ve bu malzemeyle ilgili son çalışmalar ve işlenmesindeki ilerlemeler sunulmuştur. Çalışmada bu malzemenin işlenmesinde kullanılan kesme takımları ve bunların kaplamaları üzerinde durularak takım ömrü performansları aşınma durumları dikkate alınarak değerlendirilmiş ve kesme şartlarının soğutmalı veya kuru ortamlarda etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmacıların yapmış olduğu incelemede iş

parçasının karbür ve seramik takımlarla işlenmesi ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. İncelemenin karbür takımlarla Inconel 718'in işlenmesiyle ilgili bölümde yer alan araştırmaların, frezeleme işlemi uygulamasıyla yapılmış olanları ve takımların performansı hakkındaki bilgiler özetlenirse aşağıdaki bilgilere ulaşılmaktadır.

Karbür takımlar nikel esaslı süper alaşımların özellikle de Inconel 718'in işlenmesi için geniş bir kullanım alanı oluşturmaktadır. Metal kaldırma hızını artırma ve iyi yüzey kalitesi başarma isteğindeki artışla beraber metal kesme işlemlerinde karbür takımların kullanılması bazı problemler ortaya çıkarmıştır. Nikel esaslı süper alaşımlar için yüksek hızda işleme kavramında hızın yaklaşık olarak 50 m/dak üzerinde olmasına işaret edilmektedir. Bundan dolayı yüksek kesme hızlarına ulaşmak için kaplı karbür takımlar geliştirilmiştir. Alaudin ve diğerleri çalışmalarında, kesme takımı olarak kaplamasız tungsten karbür (K20) takma uçlar kullanmışlar ve deneyleri kuru kesme koşulunda 19.32 m/dak kesme hızı, 0.09 mm/diş ilerleme ve 1 mm dik kesme derinliği kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda elde edilen takım ömrü 5–10 dakika aralığında değişmiştir. Araştırma sonucunda tam daldırmanın yarım daldırmayla karşılaştırıldığı zaman takım ömrünü artırdığı gözlemlenmiş. Ayrıca eş yönlü frezelemenin zıt yönlü frezelemeden daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Derrien and Vigneau kaplamalı ve kaplamasız (K20 derece, CrN ve TiN kaplama) karbür takım kullanarak yapmış olukları çalışmalarında 200 mm/dak kesme hızı, 0.02 mm/diş ilerleme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği kullanmışlardır. Araştırma sonucunda TiN kaplı karbür takımın en düşük aşınma sonucu verdiği görülmüştür. Deneyler çeşitli ortam koşullarında gerçekleştirilmiş ve en iyi sonuç kuru ortam şartında elde edilmiştir. Jawaid ve diğerleri araştırmalarında, PVD ile TiN kaplı ve kaplamasız tungsten karbür takma uç kesme takımları kullanmışlardır. Yapılan deneylerde 0.1 mm kesme derinliği, 0.08, 0.14 mm/diş ilerleme hızı ve kaplamalı takımlar için 25, 50, 75, 100 m/dak, kaplamasız takımlar için 25, 50 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. Kaplamasız karbür takım, takım ömrü ve metal kaldırma hacmi koşullarında 25 m/dak hız ve iki ilerleme hızı için PVD TiN kaplı karbür takımdan daha iyi sonuç vermiştir. Serbest yüzey aşınması ana kesme kenarı ve burun kısmında birlikte gelişmiştir. 25 m/dak hızda PVD TiN kaplı karbür takımın kaplamasının talaş-takım temas bölgesinde erken kalkması takımın performansını baştan engellemiştir.

İncelemeden takım performansı için çıkarılan sonuçlar ise şu cümlelerle belirtilmiştir. Inconel 718 işlendiği zaman adhezyon ve abrazyon takım aşınma mekanizmasında baskın olmaktadır. İş parçası kesme kenarına yapışmaktadır. Bu kesme koşullarına bağlı olmaktadır. Takım kenarı yığılması her zaman kararlı olmamaktadır. Bazı zamanlar takım malzemesiyle beraber takım üzerinde kalmakta ve önemli çentiklere ve kaplamanın ayrılmasına yol açmaktadır. Inconel 718 içindeki sert partiküller ağır serbest yüzey aşınmasını meydana getirmektedir. Çentik ve serbest yüzey aşınması takım ömrü için ana bozukluk durumu olmaktadır. Yüksek sıcaklıklardan dolayı genellikle oksidasyon ve difüzyon genellikle meydana gelmektedir. ISO K20 derece karbürlerin, Inconel 718'i kesmek için en iyi olduğu görünmektedir. Çünkü bunlar yüksek sertliğe ve mukavemete sahiplerdir. Ek olarak onun düşük kobalt bileşeni abrazyon direncini artırmaktadır. ISO K20 derecenin yüksek ısıl iletkenliği ve düşük genleşme katsayısı ısıl şokları düşürerek performansını yükseltmektedir. Kesme geometrisi özellikle de kesme kenarı yan açısı (side cutting edge angle (SCEA)) parmak frezelemede takım ömrü üzerine önemli etkiye sahiptir. Aynı yönlü frezeleme iyi sonuçlar vermektedir. Kaplamalar karşılaştırıldığı zaman PVD TiAlN kaplama zor malzemelerin kuru işlenmesinde özelliklede Inconel 718 süper alaşımda çok kararlı olmaktadır. Üstün oksidasyon direnci, yüksek sıcaklık kimyasal kararlılığı, yüksek sıcaklık sertliği ve düşük ısıl iletkenliği performansının en önemli sebepleridir [Dudzinski et al, 2004].

Ginting ve Nouari'nin yapmış olduğu çalışmada, Ti-6242S titanyum alaşımının küresel- parmak frezelemesinde, kaplamasız takma uçlu karbür takımın uygunluğu incelenmiştir. Deneyler kuru kesme koşulu altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde farklı kesme (60–150 m/dak) ve ilerleme (0,1–0.15 mm/diş) hızları kullanılmıştır. Aşınmış takımlar üzerinde SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler göstermiştir ki serbest kenar üzerindeki serbest yüzey aşınması ve çok fazla ufalanma ana bozukluk durumu olmaktadır. Deneyde kullanılan ilerleme hızları için sonuçlar göstermiş ki yüksek kesme hızında bitmiş yüzey en iyi olmaktadır. Araştırmada yapılan sonlu elemanlar simülasyonuyla talaş oluşumunun modellenmesinde iyi sonuçlar sağlamaktadır. Titanyum alaşımları kuru kesme koşulunda işlendiği zaman, kesme parametrelerinin hesaplanmasında ve takım aşınma mekanizmasının

anlaşılmasında talaş oluşumu modellenmesinin yardımcı olduğu belirtilmiştir [Ginting and Nouari, 2006].

Wang ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, yeni takım malzemesi olan BCBN (binderless cubic boron nitride), Ti–6Al–4V titanyum alaşımının işlenmesinde kullanılmış ve kesme kuvveti, takım ömrü ve aşınma mekanizması şartlarında titanyum alaşımı kanal frezelendiği zaman takımın aşınma mekaniği ve performansı incelenmiştir. Çalışmada kesme derinliği ile ilerleme hızının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinde artış gözlemlenmiş bununla birlikte kesme hızının artışı ile birlikte ortalama sonuç kuvvetlerinde düşme gözükmüştür. Ancak kesme hızının etkisinin, ilerleme ve kesme derinliğinin etkisinden az olduğu söylenmiştir. Kesme hızının artışı ile birlikte iş parçası talaş ara yüzeyindeki sıcaklığın iş parçası malzemesinin yumuşatma sıcaklığına yükseldiği belirtilmiş, bununda talaş deformasyonunu kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Bu takım tipinde yüksek kesme hızında uzun takım ömrü gözükmektedir. SEM ve EDX de tamamlanan gözlemler BCBN takımlarda iş parçasının yapışması ve sürtünmenin ana aşınma mekanizmasının oluşum nedeni olduğu belirlenmiştir [Wang et al, 2005].

Lopez de lacalle, J. Perez ve diğerlerinin gerçekleştirmiş olduğu araştırmada, uzay endüstrisinde sıkça kullanılan iki alaşım; nikel esaslı alaşım Inconel 718 ve Ti-6Al-4V in frezelenmesindeki mümkün olabilecek ilerleme durumları için çalışılmıştır. Bu çalışmada frezeleme işleminin verimliliğinin artışı için geometrisi ve kaplaması dikkate alınarak takımın etkisi ve işleme parametrelerinin (ilerleme ve kesme hızı, kesme derinliği) etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmada iki alaşım üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır ve frezeleme işleminin verimliğini artırmaya yönelik genel sonuçlar elde edilmiştir [Lopez de lacalle et al, 2000].

Nouari ve Ginting gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmadaki deneyler, iki farklı tip karbür takım uç kullanılarak Ti-6242S titanyum alaşımın kuru kesme şartında parmak frezelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu uçlar kaplamasız karbür ve çok katmanlı CVD kaplı karbür takımlardır. Her iki takım için takım ana bozukluk durumu ve aşınma mekaniği çeşitli kesme koşullarında gözlemlenmiştir. Her iki takımda bölgesel serbest yüzey aşınmasının baskın olduğu bulunmuştur. Takım

bozukluk durumlarından plastik deformasyon oluşumu kesici takım üzerinde belirgin bir şekilde meydana gelmiştir. Adhezyon ve difüzyon aşınmalarının, takımların aşınma mekaniğini oluşturduğundan bahsetmişlerdir. Kaplamanın tabakalar halinde dizilmesi işleme zamanın bir kaç saniyelik başlangıcından sonra başlangıç bozukluk durumunu meydana getirmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız takımların performansları takım ömrü ve bitiş yüzeyi koşullarına göre analiz edilmiştir [Nouari and Ginting 2006].

Xu ve Geng'in çalışmasında, Ti Beta 21S titanyum alaşımının frezeleme işlemindeki kesme kuvveti ve takım aşınması, farklı kesme takımları ve işleme parametreleri kullanılarak incelenmiştir. İşleme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak titanyum alaşımlarının işlenmesinde keskin kenarlı takımların düşük parametrelerle kullanılması gerektiği ve yüksek sıcaklıklardan dolayı soğutmanın sıcaklığı kontrol etmek için kullanılması önerilmiştir. Takımların malzeme ve geometri özelliklerinin, kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğundan bahsedilmiştir. Ayrıca takım serbest ve talaş yüzeyinin, aşınma ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin önemli olduğundan bahsedilmiştir [Xu and Geng,2002].

Jawaid ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmada, titanyum alaşımının yüzey frezelemesi yapıldığı zaman kaplı karbür takımların aşınma mekanizması ve performansı incelenmiştir. Deneylerde PVD-TiN ve CVD-TiCN +Al2O3 kaplı iki takım kullanılmıştır. Değişik kesme koşulları için takım ömrü, takım bozukluk durumu ve aşınma mekanizması incelenmiştir. Her iki takımda da uzun takım ömrü 55 mm/dak kesme hızı ve 0,1 mm/diş ilerlemede görülmüştür. Malzeme kaldırmanın hacmi ve takım ömrü dikkate alındığında CVD kaplı takımlar PVD kaplı takımlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir. Kesme kenarındaki aşırı ufalanmalar ve talaş yüzeyindeki ufalanmalar ve/veya dökülmeler çoğu kesme koşulu altında baskın bozukluk durumu olmaktadır. SEM ile birlikte yapılan araştırmalar kaplama ayrılmasının, iş parçası yapışmasının, sürtünmenin, difüzyonun, plastik deformasyonun ve ısıl kırıkların aşınma mekanizmasını gerçekleştirdiğini göstermiştir [Jawaid et al, 2000].

Mantle ve Aspinwall'ın çalışmasında, Ti-45Al-2Nb-2Mn–0,8 vol%, TiB_2XD^{TM} alaşımının küresel parmak frezele ile işlenmesi sonucu oluşan yüzey bütünlüğüyle ilgilenilmiştir. Gama titanyum alüminyum alaşımı ticari olarak uzay ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Deneylerde kaplı tungsten karbür küresel parmak freze kullanılmış ve kesme parametrelerinin seçimi bitiş işleme işlemi dikkate alınarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değeri çoğunlukla <1,5μm nin altında kaydedilmiştir. Yüksek hızda frezeleme parametrelerinin etkileri değerlendirilmiş, serbest yüzey aşınması ve kesme hızının önemli etkileri olduğu ifade edilmiştir. Araştırmada deneyler sırasında iş parçası iki farklı şekilde konumlandırılmıştır. İş parçasının açıları 0^o ve 45^o olarak alınmıştır. Ayrıca çalışmada mikro sertlik ve artık gerilme ölçümleri yapılmış ve malzeme yüzeyi incelenmiştir. Çalışma sonucunda bulunan değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır [Mantle and Aspinwall, 2001].

Ensarioğlu ve Çakır çalışmalarında, titanyumun işlenebilirliğini, kesici takım, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutucu / yağlayıcı etkileri altında incelemiş, talaş oluşumu, aşınma mekanizmaları, yüzey pürüzlülüğü gibi konulara da etüt içerisinde değinmişlerdir. Ayrıca titanyumun işlenebilirliği üzerine yapılan bazı deneylerden ve sonuçlarından kısaca bahsetmişlerdir [Çakır ve Ensarioğlu, 2005].

Liu ve diğerleri araştırmalarında, çevresel frezelemede, takım ve iş parçası sapmalarından dolayı boyutsal doğruluk üzerinde kesme kuvvetlerinin önemli etkisi olduğundan bahsetmişlerdir. Bu çalışmalarında da çevresel frezeleme için teorik dinamik kesme kuvvetleri modellemesi gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirmiş oldukları bu model deforme olmamış talaş kalınlığının boyut etkilerini, etkin talaş açısının ve talaş akış açısının tesirlerini kapsamaktadır. Yücesan, tarafından yapılan kesme kuvvetleri ölçümleri ile modeldeki kesme kuvveti katsayıları ayarlanmıştır ve modelin doğruluğu önceki modellerle ispatlanmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları, son parçaların boyutsal doğruluğunda kesme kuvvetlerinin önemli etkisi olduğunu göstermiş ve ideal kesme kuvvet dağılımının bize takım ve kesme parametrelerinin seçiminde yardımcı olacağından bahsedilmiştir. Böylece işleme hatalarının azalacağı ve verimliliğin artacağı söylenmiştir [Liu et al, 2002].

1. 3. Talaş Kaldırma Mekaniği

Talaş kaldırma belirli şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parçayı meydana getirmek için ucu keskin bir takımla ve güç kullanarak iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Kesici takımın talaş kaldırma esnasında iş parçasından elastik ve plastik deformasyon sonucu ayırmış olduğu malzemeye talaş denir.

Talaş kaldırma, fiziksel bakımdan kesici takım ile iş parçası arasındaki kesme ve ilerleme hareketi sonucunda elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık bir olaydır.

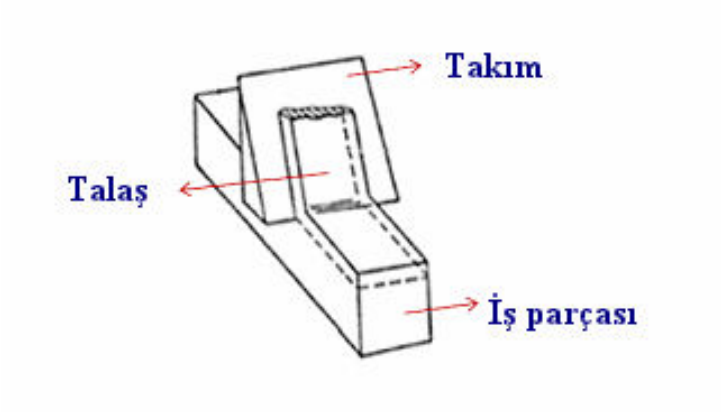
İş parçası üzerinden talaş kaldırılması için gerekli olan temel gereksinimler temel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Takım işlenecek malzemeye nüfuz etmelidir.
- Takım iş parçasından sert ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır.
- Kesici uç geometrisi kesmeyi kolaylaştıracak şekilde olmalıdır.
- Takımın malzeme direncini yenmesi için uygulanan kuvvetlerin yeterli olması.

Talaş kaldırma olayı incelenmek için üç boyutlu kesmeden ziyade iki boyutlu kesmeye dönüştürülerek modellenir. Kesme olayı iki şekilde meydana gelmektedir.

A. Dik Kesme

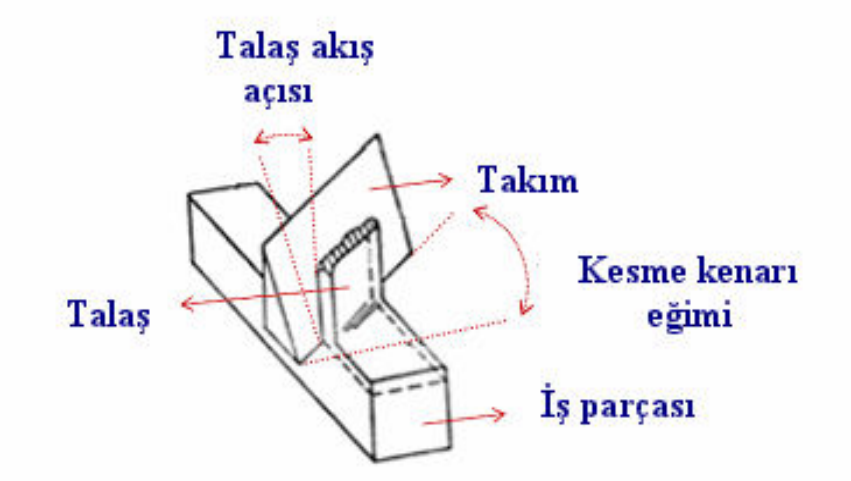
Dik kesmede kesme hızı vektörü ve takımın kesme kenarı birbirine diktir. Şekil 1.1.'de dik kesme modeli şematik şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Dik Kesme Modeli.

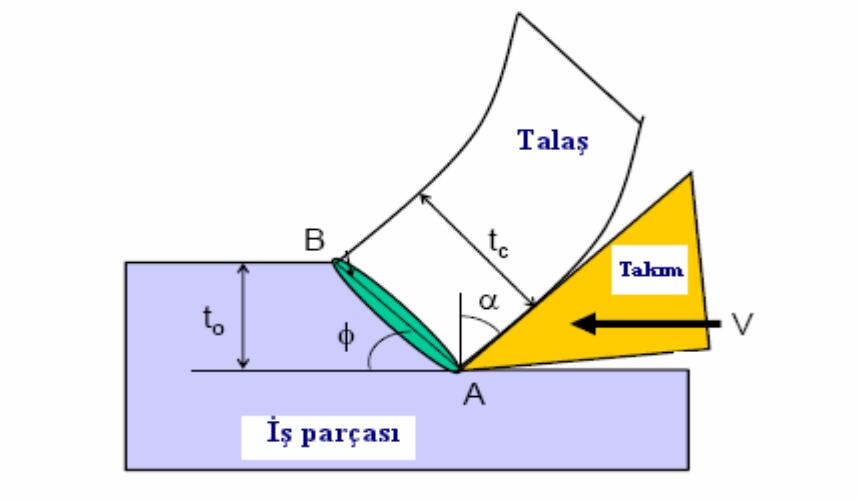
B. Eğik kesme

Eğik kesmede kesme hareketi ile kesici uç birbirine dik değildir. Şekil 1.2.'de eğik kesme modeli şematik şekilde gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Eğik Kesme Modeli.

Dik kesme işlemi, üç boyutlu kesme işlemlerini modellemek için kullanılır. İki boyutlu ortogonal model, üçüncü boyutu ele almadan üç boyutlu işlemlerin davranışlarını ideal gösteren bir geometriye sahip olduğundan deformasyon işleminin açıklanmasında bu modelden yararlanılır. Şekil 1.3.'de iki boyutlu ortogonal model üzerinde kesme birinci kayma bölgesi, hızı vektörü, talaş açısı (α), kesme açısı (Φ), kesme yüzeyi boyunca iş parçasından ayrılacak olan talaşın kalınlığı (t_o), kesme işlemi sonucu oluşan talaşın kalınlığı (t_c) şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.3. İki boyutlu ortogonal model.

Takımın iş parçası üzerine talaş oluşumu için yeterli olan belirli bir kuvvetle bastırıldığı ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takım ucunun temas ettiği metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı zaman tabaka talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca malzemeden ayrılır [Akkurt, 2004. Şahin, 2000].

1. 4. Metal Malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği

Malzemelerin talaşlı işlenmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli etken, üretimin en düşük maliyetle, istenilen kalite ve standartlara uygun olarak gerçekleştirilmesidir. Bu etkenlerin üretim sürecinin sonunda elde edilebilmesi için talaşlı imalatta işlenebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Talaşlı işlenebilirlik; kesici takım ile iş parçasındaki ilişkinin, talaş kaldırma parametreleri dikkate alınarak ve bu parametrelerin talaş kaldırma sırasındaki etkilerinin maliyet ve kalite yönünden değerlendirilerek belirlenmesi diye tanımlanabilir. Talaşlı imalat işleminde işlenebilirliğin belirlenmesine çalışılması, işlenecek malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine uygun, kesici takım malzemelerinin ve kesici takım geometrisinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır [Gülmez, 2003]. Böylece farklı özelliklere sahip malzemelerin, talaşlı imalat işlemlerinde, değişik takımlar ve talaş kaldırma parametreleri kullanılarak tespit edilen takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı, mikro sertlik ve artık gerilmeler vb. değerleri değerlendirilerek işlenebilirlilik veri tabloları oluşturulmaktadır.

Bütün bu çalışmaların amacı, malzemelerin talaşlı işlenmesi sırasındaki takım ile iş parçası arasında oluşan, talaş kaldırma zorluklarını ve olumsuzluklarını en aza indirmektir. Genellikle talaş takım ara yüzeyindeki sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklıklardan dolayı takım aşınması oluşmaktadır. Takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak takım ömrünü artırmak da mümkün olmaktadır. Kesme işleme sırasındaki oluşan ısı, metal kesme işlemini etkileyen en önemli nedendir. İşleme sırasında oluşan ısı, kesme parametrelerinin değişimine paralel olarak değişiklik arz eder. Özellikle kesme hızının artışıyla işleme sırasında oluşan ısı artmakta ve bu artışa bağlı olarak da talaş kaldırma hızı yükselmektedir [Özel and Altan, 2000. Su et al, 2006]. Isı artışı istenmeyen bir oluşum olduğundan dolayı etkilerini azaltmak için kesici takım malzemelerinde yenilikler yapılmaktadır. Takım aşınmasını geciktirmek ve takım ömrünü artırmak için yeni takım malzemeleri kullanılmakta, takım yüzeylerine kaplamalar yapılmakta ve kesici takım performansını artırmak için farklı geometrilerde takımlar imal edilmektedir.

Talaşlı işlenebilirlik terimi; imalat sanayinde geniş olarak kullanılmasına rağmen, değişik talaş kaldırma parametrelerinin birlikte oluşturduğu bir sistem özelliğidir. Talaşlı imalatta bir malzemenin işlenebilirliği aşağıdaki talaş kaldırma parametreleri kullanılarak takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinden değerlendirilmeye alınır.

a. Kesme Hızı,
b. İlerleme,
c. Kesme Derinliği,
d. Kesme Koşulu,
e. Kesme Yöntemi.

Bu değerlendirme kriterleri optimum şekilde alındığı zaman kesme kuvvetlerinin küçüldüğü gözükür ve buna bağlı olarak ihtiyaç duyulan tezgah gücü azalır. Kuvvetlerin değişimiyle oluşan ısı değişiklikleri de dikkate alınması gereken önemli bir sonuç olarak karşımıza çıkar. Kesme kuvvetleri takım ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biridir, bundan dolayı takım ömrünün değerlendirilmesinde kesme kuvvetlerinin tespiti bilimsel çalışmalarda incelenen konulardandır. Yüksek hızda frezelemede, kesme kuvvetlerinin bilinmesi iş parçası malzemesinin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olmaktadır [Toh, 2004]. Buna bağlı olarak kesme kuvvetlerinin, takım ömrü üzerindeki etkisinden dolayı talaşlı işlenebilirliğe önemli etkisi vardır. En uygun talaş kaldırma parametrelerinin, farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip malzemelere ve kesici takımlara göre değiştiği işlenebilirlikte dikkate alınmalı ve etkileri ayrı ayrı olarak değerlendirilmelidir.

1. 4. 1. Talaş Kaldırma Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkileri

1. 4. 1. 1. Kesme Hızı

Sabit ilerleme hızı ve kesme derinliği değerinde, artan kesme hızı kesme kuvveti değerini düşürmektedir. Yüksek kesme hızlarında açığa çıkan yüksek sıcaklığın takım ömrü üzerinde etkisi büyüktür [Su et al, 2006]. Kesme hızı arttığı

zaman takım ömrü de azalmaya başlamaktadır [Rahman et al, 2003]. En büyük sıcaklık yükselişi kesme hızının artışıyla gerçekleşmektedir [Özel and Altan, 2000]. Bu olumsuz etkiyi telafi etmek için yüksek hızda işlemede uygun kesme takımları kullanılmalıdır. Kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi ilerleme ve kesme derinliğiyle kıyaslandığı zaman azdır. Çünkü yüksek kesme derinliği ve ilerleme değerlerinde, düşük kesme hızı kullanıldığı halde takım ömrü kısa çıkmaktadır [Ghanil et al, 2004].

1. 4. 1. 2. İlerleme

İlerleme hızı frezelemede dişin giriş çıkışı ve talaş alanından dolayı talaş kalınlığını önemli derecede etkilemektedir. İlerlemenin artışı ile yüksek kesme kuvvetleri açığa çıkar. Çünkü malzemeyi kaldırabilmek için yüksek güç tüketimi gereklidir. Sonuç olarak kesme bölgesindeki sıcaklık yükselir. Buda takım aşınması açısından istenmeyen bir durumdur [Ghanil et al, 2004].

1. 4. 1. 3. Kesme Derinliği

Yüksek dik kesme derinlikleri kullanıldığı zaman oluşan mekanik yüklemeler, takım aşınmasının kötüleşmesi eğilimini arttırmaktadır. Çünkü kesme sırasında kesme derinliğinden dolayı sıcaklık olayı gözlenecek ve özellikle frezelemede aralıklı kesmelerde ısıl şoktan dolayı takım aşınması hızlanacaktır. Ayrıca yüksek mekanik yüklemeler titreşim meydana getirecek, titreşimden dolayı da takımın iş parçasına vurması gerçekleşecek ve bu etkiden dolayı aşınma artacaktır. Bu vurmalardan dolayı iş parçası yüzey kalitesi de olumsuz etkilenecek, boyutsal ölçülerde sapmalar meydana gelecektir [Toh, 2004]. Kesme derinliği düşük değerlerde tutulduğu zaman yapılan çalışmalarda, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri düşük sonuçlar vermiştir. Yüksek kesme derinlikleri takım ömrünü kısaltmaktadır [Ghanil et al, 2004].

Frezelemede bitiş işlemlerinin birçoğunda kuvvetleri, sapmaları ve bunlardan dolayı meydana gelen biçim hatalarını azaltmak için yan kesme derinliği çok küçük olmaktadır [Budak].

1. 4. 1. 4. Kesme Koşulu

Takım – talaş ara yüzeyinde oluşan ısının uzaklaştırılması açısından kesme koşullarının işlenebilirliğe etkisi önemlidir. Değişik çalışmalarda takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü geliştirecek deneyler, en iyi kesme koşulunu bulmak ve işlenebilirliği artırmak için gerçekleştirilmektedir [Budak. Rahman et al, 2003]. Yapılan çalışmalarda çevreye ve insan sağlığına zararlı etkileri olan ayrıca imalatı bitmiş parçanın yüzey temizliği açısından kullanımda olan, soğutma sıvılarına alternatif soğutma teknikleri üzerinde de çalışılmaktadır. Bu soğutma tekniklerine örnek olarak basınçlı soğuk nitrojen gazı, soğutulmuş hava ve basınçlı soğuk nitrojen gaz-yağ dumanı verilebilir.

Sürtünme ve sürtünmeye bağlı olarak ortaya çıkan ısı, kesici takımın bozulmasının ve yüzey pürüzlülüğünün artmasının temel nedeni olduğundan dolayı kesme koşularının seçiminde, kesici takım özellikleri ile iş parçası malzemesi ve kullanım yerlerine dikkat edilmesi, işlenebilirlik açısından dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

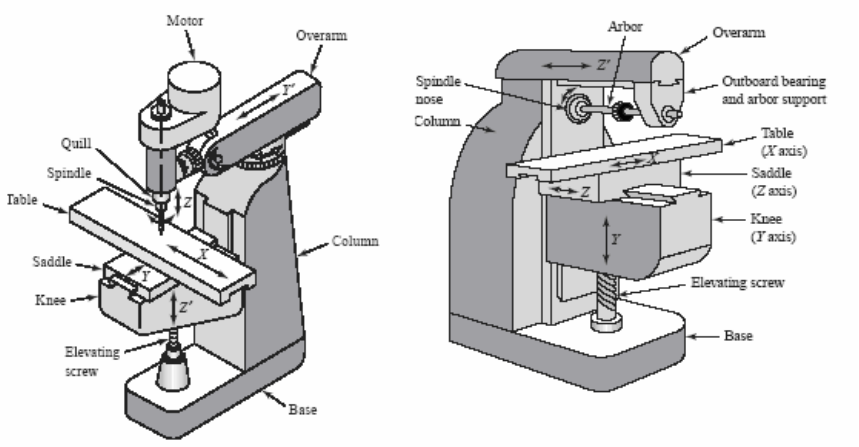
1. 4. 1. 5. Kesme Yöntemi

İş parçasının yan yüzeylerinin frezelenmesinde, zıt yönlü frezeleme yöntemi ile aynı yönlü frezeleme yönteminin kullanımı karşılaştırıldığı zaman, zıt yönlü frezeleme yönteminin işlemede kullanılmasının yüzey kalitesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çünkü zıt yönlü frezeleme yönteminde iş parçası üzerine gelen F_y kuvvet bileşeni F_x kuvvet bileşeninden % 23 daha düşük olmaktadır [Toh, 2004].

1. 5. Frezeleme

Frezeleme işlemi; çevresinde kesici ağızları bulunan kesici takımın, kendi ekseni etrafında dönme hareketine karşılık, freze tezgâhının tablasına bağlanmış olan iş parçasının belirli eksenlerde ilerleme hareketi yapmasıyla meydana gelen talaş kaldırma işlemidir [Akkurt, 2004. Gülmez,2003].

Freze tezgâhları, takımı taşıyan ve malafa denilen elemanın konumuna göre Şekil 1.4.'de gösterildiği üzere yatay, dikey ve üniversal freze olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Üniversal freze tezgâhları, takımı taşıyan elemanın eğik duruma getirilebilmesinden dolayı yatay ve düşey freze tezgâhlarının yerine her ikisinin de görevini yapabilirler. Freze tezgâhları kumanda sistemine göre de NC freze tezgâhı ve CNC freze tezgâhı olmak üzere iki gruba ayrılır [Akkurt, 2004. Şahin, 2000. Gülmez, 2003].



(a) (b)

Şekil 1.4. Dikey freze tezgahı (a),Yatay freze tezgahı (b).

Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işlemi diğer talaş kaldırma işlemlerinden farklı olarak, kesici takımda bulunan kesici ağız sayısının birden fazla olması ve kesici takımların çeşitliliği bakımından oldukça karmaşık bir talaş kaldırma işlemidir. Frezelemede, farklı uygulamalar için çok değişik şekilli çok farklı freze çakıları bulunmaktadır. Tek kesici ağza sahip kesiciler bulunmakla birlikte, kesici ağız sayısı 100'e kadar olan freze çakıları olabilmektedir.

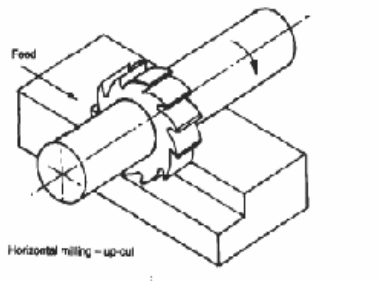
Frezeleme işleminde her uç, yay şeklinde talaş parçacığı çıkararak yeni yüzey meydana getirir. Frezeleme işlemlerinin en önemli özelliği, her kesici ucun, kesme hareketinin kesik olmasıdır. Her diş kesicinin bir dönüşünden daha az kesme yapar ve kesme işlemi bir çevrimin sadece küçük kısmında gerçekleşir. Her uç iş parçası ile temas yaptığı zaman periyodik olarak darbeye maruz kalır. Kesme işlemi esnasında takımın kesme kenarı ısınır ve gerilim artar. Bunu gerilme olmayan soğumaya müsaade eden dönem takip eder. Kesme dönemleri zamanları saniyenin az bir kısmında ve saniyede birkaç kere tekrarlanır. Dolayısıyla takım mekanik ve ısıl yorulmaya maruz kalır. Ancak frezeleme ile talaş kaldırma işleminde diğer talaşlı imalat yöntemlerinden farklı olarak, aynı anda birden fazla kesici ağızlarla talaş kaldırıldığı için verimliliği yüksek talaşlı bir imalat yöntemidir.

Frezeleme işleminde, kesici takımın kendi etrafında dönme ve iş parçasının ilerleme yönü arasındaki farklılıklardan dolayı talaş oluşumu sırasında talaş kalınlığı değişiklik arz eder. Bu sebeple frezeleme işlemlerinde aynı yönlü ve zıt yönlü olmak üzere iki farklı frezeleme yöntemi kullanılır. Bu yöntemler arasındaki farklılıklar ileriki bölümde belirtilecektir.

Frezeleme işlemi, iş parçasında yapılacak talaşlı işlemenin şekline ve kesici takımın şekline göre çevresel veya alın frezeleme olarak isimlendirilebilir [Akkurt, 2004. Şahin, 2000. Gülmez, 2003].

1. 5. 1. Çevresel Frezeleme

Çevresel frezeleme; ekseni yatay durumda olan silindirik bir freze takımın çevresindeki kesici ağızlar vasıtası ile talaş kaldırma işleminin gerçekleştiği frezeleme işlemidir. Şekil 1.5.'de çevresel frezeleme işlemi şematik olarak gösterilmiştir.

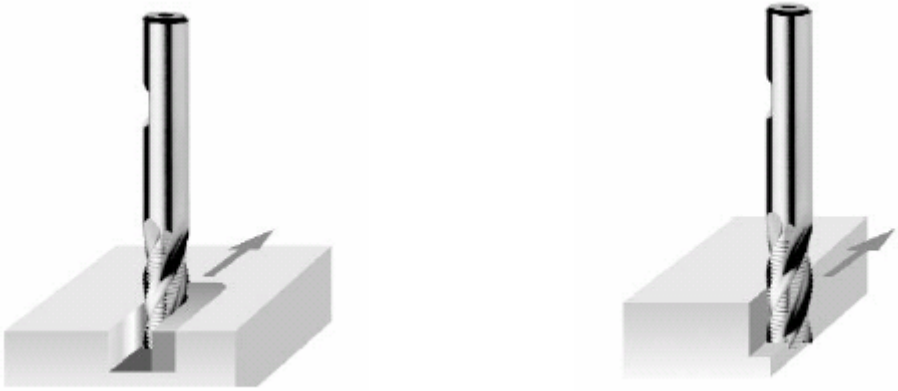


Şekil 1.5. Çevresel frezeleme.

1. 5. 2. Alın Frezeleme

Alın frezeleme, takım ekseni işlenen yüzeye dik olan kesme takımları ile iş parçasından talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırma işlemi kesici takımın alın ve yan kenarındaki kesici ağızları ile gerçekleşir. Alın frezelemede frezenin önemli boyutu çapıdır.

Alın frezelemede, takımın işlenen yüzeyin genişliğine göre konumu Şekil 1.6.'da gösterildiği gibi simetrik veya asimetrik olabilir. Simetrik alın frezelemede frezenin yatay ekseni, işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakışır. Asimetrik alın frezelemede ise frezenin yatay ekseni, işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakışmaz [Akkurt, 2004]. Simetrik alın frezelemenin asimetrik alın frezelemeden farkı, talaş oluşumu sırasında talaşta kalınlık farkı olmamasıdır. Buda aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme yönteminin uygulamasını ortadan kaldırır.



(a) (b)

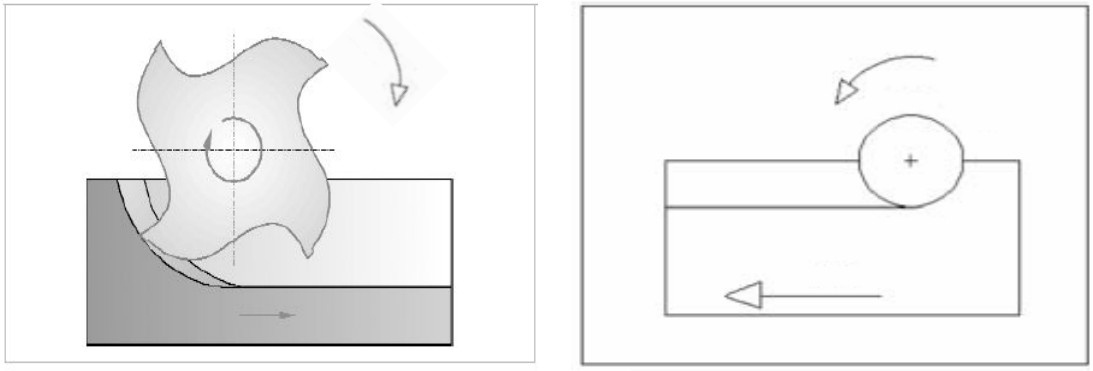
Şekil 1.6. Simetrik alın frezeleme (a), Asimetrik alın frezeleme (b).

1. 5. 3. Zıt Yönlü ve Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi

1. 5. 3. 1. Zıt Yönlü Frezeleme Yöntemi

Zıt yönlü frezeleme yönteminde takım, parçanın ilerleme yönüne Şekil 1.7.'de gösterildiği üzere karşı olarak dönmekte ve kesme işlemi aşağıdan yukarıya doğru

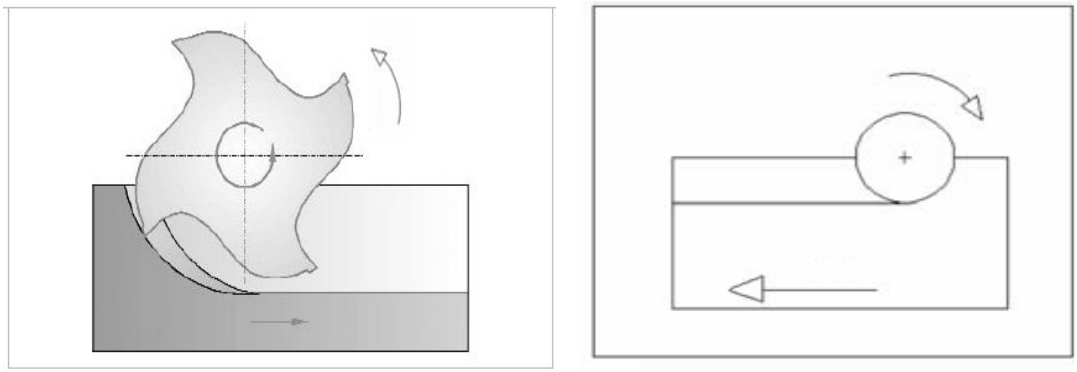
yapılmaktadır. Zıt yönlü frezeleme yönteminde, kesici takımın iş parçası ile ilk temas ettiği noktadaki talaş kesiti en az, kesici takımın iş parçasını terk ettiği noktadaki talaş kesiti en çok olacaktır. Karşıt frezeleme yönteminde talaşın durumundan da anlaşılacağı gibi kesme kuvvetinin yönü aşağıdan yukarıya doğru olup sıfırdan en çok değerine ulaşmaktadır.



Şekil 1.7. Zıt yönlü frezeleme şematik gösterimleri.

1. 5. 3. 2. Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi

Aynı yönlü frezeleme yönteminde takım, parçanın ilerleme yönüne göre Şekil 1.8.'de gösterildiği üzere aynı yönde döner. Kesme işlemi yukarıdan aşağıya doğru yapılır. Aynı yönlü frezeleme yönteminde, talaş kalınlığı en çok değerden, kesici takımın iş parçasını terk ettiği noktadaki en az değere kadar sürekli azalır. Aynı yönlü frezeleme yönteminde kesme kuvveti en çok bir değerden sıfır değerine kadar azalmaktadır. Kuvvet yönü parçaya doğru olmaktadır.



Şekil 1.8. Aynı yönlü frezeleme şematik gösterimleri.

1. 5. 3. 3. Aynı ve Zıt Yönlü Frezelemenin Karşılaştırılması

Aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işleminin, takım ömrü yüzey pürüzlülüğü, enerji sarfiyatı ve iş parçası bağlama kolaylığı gibi koşulları dikkate aldığımızda birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu farklılıkları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [Akkurt, 2004. Şahin, 2000. Gülmez, 2003].

1. Zıt yönlü frezelemede kesme kuvveti ile iş parçasının karşı koyma kuvveti zıt olduğundan meydana gelen kesme kuvveti bileşkesi büyüdüğünden tezgâhın enerji sarfiyatı artmaktadır.

2. Kesme kuvvetinin başlangıçta en yüksek olması, aynı yönde frezeleme yöntemi için bir mahzurdur. Parçayı tablaya bastırmaya çalışması ise bir üstünlüktür. Bu sayede iş parçasının titreşimi azalacak ve yüzey kalitesi yükselecektir.

3. Döküm yoluyla elde edilen parçaların yüzeylerinde sert tabaka olduğundan aynı yönlü frezeleme yönteminde kesme dişi başlangıçta sert tabakaya nüfuz etmeye çalışır. Bu nedenle takım daha çabuk aşınır ve takım azalır.

4. Zıt yönlü frezeleme yönteminde diş daha yumuşak olan işlenmiş yüzeye nüfuz edecektir. Ancak kesme ağzının ucu çok azda olsa yuvarlatılmış olması nedeniyle diş ilkin kayacak ve daha sonra malzemeye nüfuz edecektir. Bu kayma takım aşınmasına ve takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

5. Zıt yönlü frezeleme yönteminde talaş kaldırma esnasında iş parçasının yüzeyinde oluşan elastik ve plastik deformasyon etkisinden dolayı işlenen iş parçasının yüzey kalitesi iyi değildir.

1. 5. 4. Frezeleme İşleminde Kullanılan Genel Formüller

Frezeleme işleminde kullanılması gereken bazı formüller aşağıda verilmiştir.

Kesme hızı
(m/dak)

$$v_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$$

Fener mili hızı
(dev/dak)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$$

Tabla ilerlemesi (ilerleme hızı)
(mm/dak)

$$v_f = f_z \times n \times z_n$$

Diş başına ilerleme
(mm)

$$f_z = \frac{v_f}{n \times z_n}$$

Devir başına ilerleme
(mm/dev)

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Talaş kaldırma hızı
(cm^3)

$$Q = \frac{a_p \times a_e \times v_f}{1000}$$

Spesifik kesme kuvveti
(N/mm^2)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c}$$

Ortalama talaş kalınlığı (mm)
$a_e/D_c \leq 0.1$ iken
(Kenar ve alın frezeleme)

$$h_m \approx f_z \sqrt{\frac{a_e}{D_c}}$$

Ortalama talaş kalınlığı (mm)
$a_e/D_c \geq 0.1$ iken

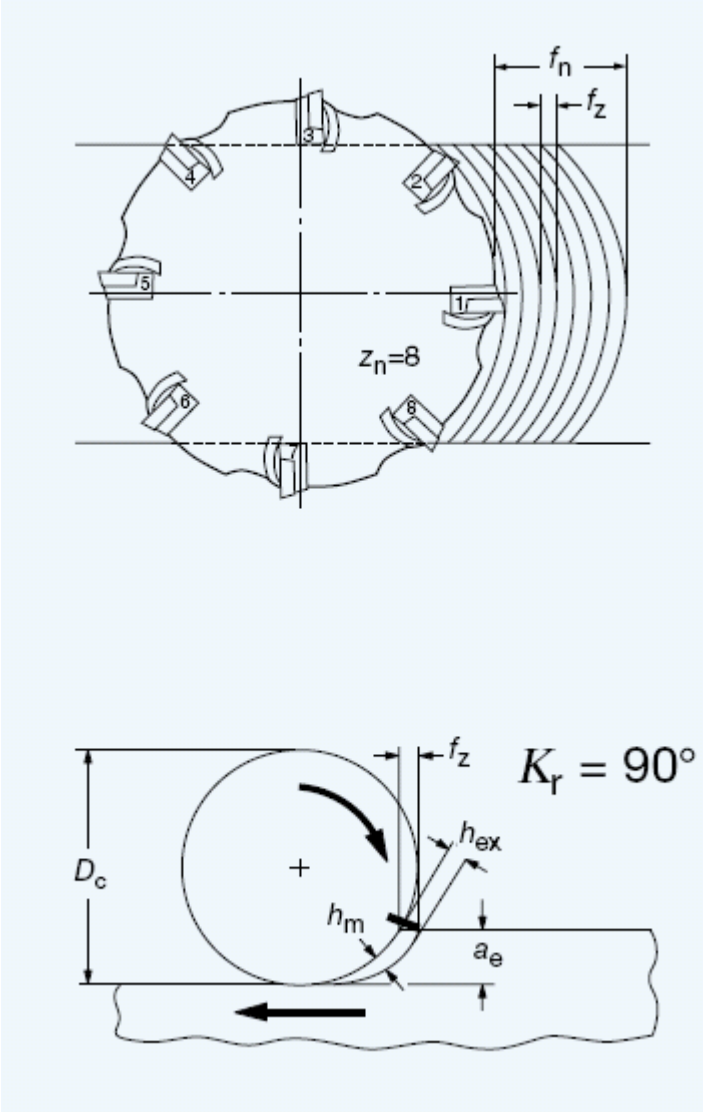
$$h_m = \frac{\sin \kappa_r \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D_c \times \arcsin\left(\frac{a_e}{D_c}\right)}$$

İşleme zamanı
(dak)

$$T_c = \frac{l_m}{v_f}$$

Net güç (kW)

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6 \times \eta}$$

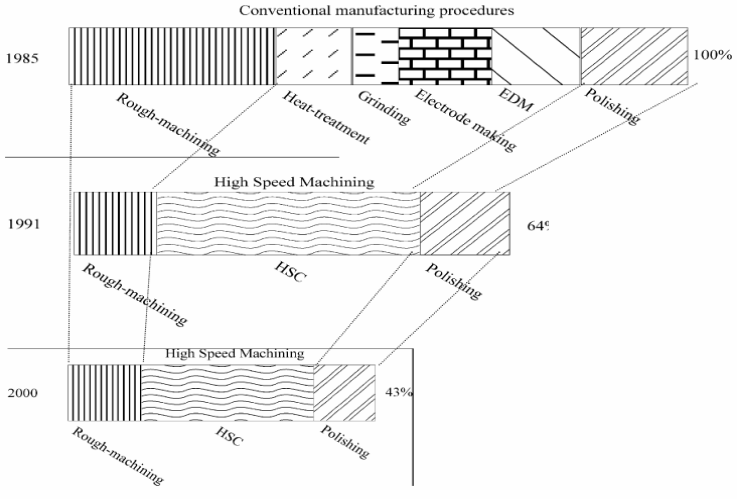


Şekil 1.9. Formüllerle hesaplanan bazı değerlerin şematik gösterimi.

1. 6. Yüksek Hızda İşleme

Yüksek hızda işleme yeni gibi görünmesine karşın, aslında başlangıcı 1920'lere dayanmaktadır. 1924 yılında Dr. Carl Salomon tarafından bulunup 1931 yılında da patenti alınmıştır [Aslan, 2005]. Yüksek hızda işleme, genel olarak freze takımlarıyla, geleneksel frezeleme işlemleriyle karşılaştırıldığı zaman daha yüksek kesme ve ilerleme hızlarının gerektiği bir metal kesme işlemidir. Kesme takımlarındaki ve takım tezgâhlarındaki ilerlemeler bu işleme tekniğini uygulanabilir kılmaktadır. Bu işleme tekniği geniş pasolar ve büyük takımlarla talaş kaldırma yerine düşük pasolar ve küçük takımlarla işleme yapılmasına olanak tanır.

Yüksek hızda işleme, birim zamanda kaldırılan talaş miktarı daha az olmasına karşın toplam süreçte işleme sürelerinin %30 ve daha fazla kısalmasını, yüksek malzeme kaldırma hızını, polisaj işlemine bile gerek duyulmayacak şekilde yüzey kalitelerinin elde edilmesini, küçük kesme kuvvetlerinin ortaya çıkmasını ve ölçüsel doğruluğun düzelmesini sağlar [Aslan, 2005. Su et al, 2006. Junz and Zheng, 2003. Fallböhmer et al, 2000].

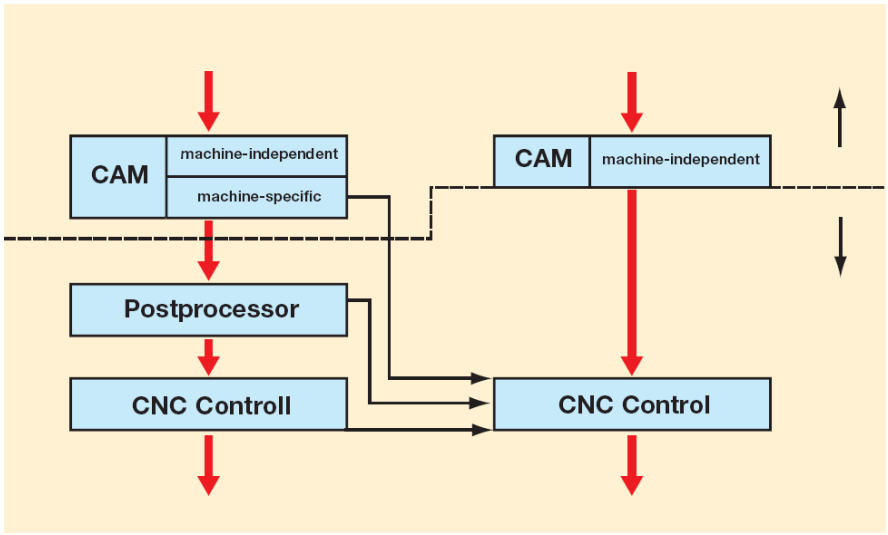


Şekil 1.10.1985–2000 yılları arasındaki işleme zaman analizi [Krajnik et al, 2004].

Şekil 1.10.'nu incelediğimiz zaman yüksek hızda işleme uygulamalarının üretimde kullanılmaya başlanmasıyla birilikte ısıl işlem, taşlama ve elektrot işleme gibi ara imalat uygulamalarının kalktığı ve buna bağlı olarakta toplam imalat

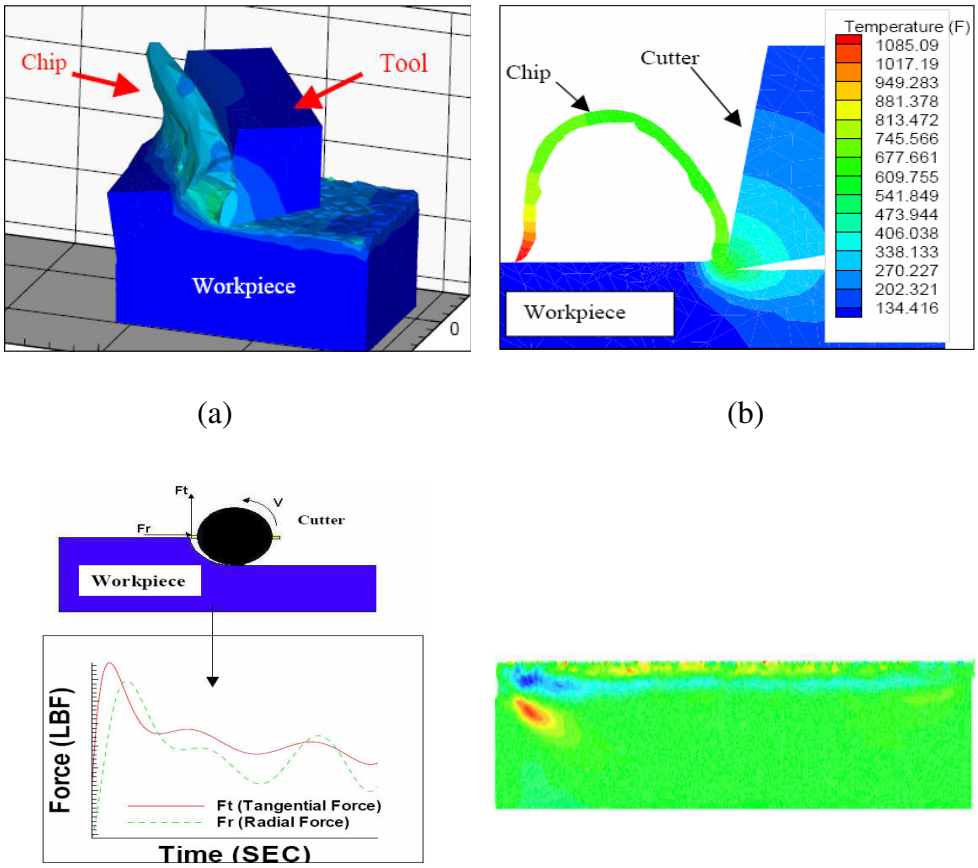
sürecinde işleme sürelerinin kısaldığı görülmektedir. Yüksek hızda işleme alaşımlı sertleştirilmiş çeliklerin, nikel esaslı süper alaşımların ve titanyum alaşımlarının işlenmesinde uygun olarak kullanılabilir. Sert frezeleme; yüksek hızda işleme uygulamalarının, 30–70 HRc sertlik aralığında bulunan çeliklerin işlenmesinde kullanılmasıdır [Iqbal et al, 2006]. Uygulama alanı olarak dövme kalıpları, plastik kalıpları, şişirme kalıpları, grafit ve bakır elektrot işleme, otomotiv, havacılık ve uzay sanayi örnek olarak gösterilebilir.

Yüksek hızda işlemenin tek ana sorunu, kabul edilemeyen kısa takım ömürleri olmaktadır [Iqbal et al, 2006]. Yüksek hızda işleme konusunda yapılan araştırmaların büyük çoğunluğu takım ömrünü artırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Araştırmalarda takım ömrünün yanında iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü düzeltmekte de amaç olarak ele alınmaktadır. Araştırmacıların bu konular üzerinde çalışmasına sebep olan neden; yüksek hızda frezeleme sonucunda ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve gerilim artışıdır. Bu artışlar talaş-takım ve takım-iş parçası ara yüzeyinde meydana gelmekte ve takım aşınmasına, yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına ve takım için harcanan ücretlerin artmasına yol açmaktadır [Özel and Altan, 2000]. Bundan dolayı yüksek hızda işleme ve Şekil 1.11.'de akış şeması verilen bilgisayar destekli imalat işlemleriyle birlikte en uygun kesme parametrelerinin seçimi ekonomik açıdan çok önemli bir amaçtır.



Şekil 1.11. Bilgisayar destekli imalat akış şeması.

Ayrıca yüksek hızda işleme uygulamalarının artışına paralel olarak, yeni takım malzemelerinin geliştirilmesi, kesme takımı uçlarının tasarımının iyileştirilmesi, CNC takım yolu üretimindeki yeni stratejiler ve kesme işlemi koşullarının iyileştirilmesi için yapılan araştırmalarda da artış olmaktadır. Bunlardan başka; kesme işlemlerinin bilgisayar destekli simülasyonuyla ilgili yapılan çalışmalar, takım sıcaklığı, kesme kuvvetleri ve gerilimin belirlenmesine yardımcı olmakta ve takım ömrünün uzatılması için yararlı bir teknik meydana getirmektedir [Fallböhmer et al, 2000]. Şekil 1.12.'de kesme işleminin bilgisayar destekli simülasyonun gerçekleştirilmesi sonucu elde edilen takım-talaş ara yüzeyi etkileşimi, iş parçasında meydana gelen gerilimler ve kesme sırasında oluşan sıcaklıklar ve kuvvet değerlerine ait örnekler gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Takım-talaş ara yüzü etkileşimi (a), sıcaklıklar (b), kesme kuvvetleri (c), gerilimler (d) [Russell].

Yüksek hızda kesmenin teknoloji sürecini ve işleme sistemini maddeler halinde şu şekilde sıralayabiliriz;

- Genellikle mil hızları 10000 dev/dak'nın üzerindedir, fakat bu hızlar kesme takımına ve iş parçasına büyük ölçüde bağlıdır [Wang and Zheng],
- İleri kesme takımı malzemeleri, kaplama teknolojileri ve takım tutucular kullanılır [Aslan, 2005. Fallböhmer et al, 2000],
- Yüksek hızlarda takımın keskin ve ani geçişler yapmamasını sağlamak gerekir [Krajnik and Kopac, 2004],
- Yüksek hızda işleme uygulamalarında, kesmenin ilerlemesi ve derinliği düşük olmasına rağmen, kesme hızının yüksek olmasından dolayı, metal kaldırma oranında değişiklik olmaz,
- Kaba pasolarda helisel giriş, yari finiş ya da finiş pasolarda ise dairesel giriş tercih edilmelidir [Fallböhmer et al, 2000],
- Kesme takımı ve iş parçasında yüksek işleme sıcaklıkları görülür,
- Çok ince duvarlı bölümlerin işlenmesi mümkün kılınır [Sandvik Coromant, 2003],
- Parça ölçülerinde yüksek doğruluk sağlar,
- Yüksek verimlilik, imkân dâhilinde son derece iyi yüzey pürüzlülüğü genellikle $R_a \approx 0{,}2$ μm. nin altında [Sandvik Coromant, 2003],
- Yüksek hızda işleme de CNC tezgâhların kullanımına paralel olarak iyi yetişmiş personel ve işleme programı ihtiyacı doğmaktadır [Sandvik Coromant, 2003].

1. 7. Yüzey Kalitesi

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dâhildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder [Akkurt, 2004]. Yüzey pürüzlülüğü, şekil ve dalgalanma hataları dikkate alınmadan, sınırlanmış bir alandaki işlenen yüzeyin belirli şekilde tanımlanan bütün bozukluklarının tamamıdır. Yüzey kalitesine etki eden çok değişik faktörler vardır. Parçanın talaşlı imalatı sırasındaki kesici takım hatalarına ve kesme esnasında meydana gelen titreşime bağlı olarak iş parçasının yüzeyinde geometrik hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları; kesici ağızların eksenel ve radyal olarak hatalı yerleştirilmesi, kesici ağızların kesme esnasında kesme kuvveti etkisi altında şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar. Freze tezgâhlarında, kesici takımın dönme eksenindeki açıdan dolayı eksantriklik hatası meydana gelir. Bu hata, işlenen yüzeyde iç veya dış bükeylik meydana getirir. Bütün bu hatalar beraberinde işlenen yüzeylerin pürüzlü çıkmasına ve yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır [Öktem, 2004. Sandvik Coromant, 2003].

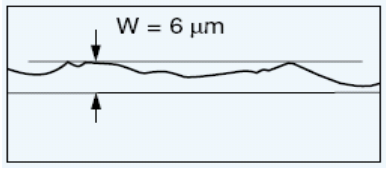
1. 7. 1. Yüzey Kalitesinin Ölçüm Metodları

1. 7. 1. 1. Dalgalılık

Biçim titreşimi veya dalgalılık (W) yüzeyin makro yapısıdır (Şekil 1.13.). Kabul edilemeyen dalgalılık aşağıdaki sebeplerden oluşur;

- Hassas olmayan freze veya fener mili,
- Kesici uçların eksenel hareketi.

Dalga tepesi arasındaki mesafe genellikle devir başına ilerleme ile çakışır [Sandvik Coromant, 2003].



Şekil 1.13. Dalgalılığın şematik gösterimi.

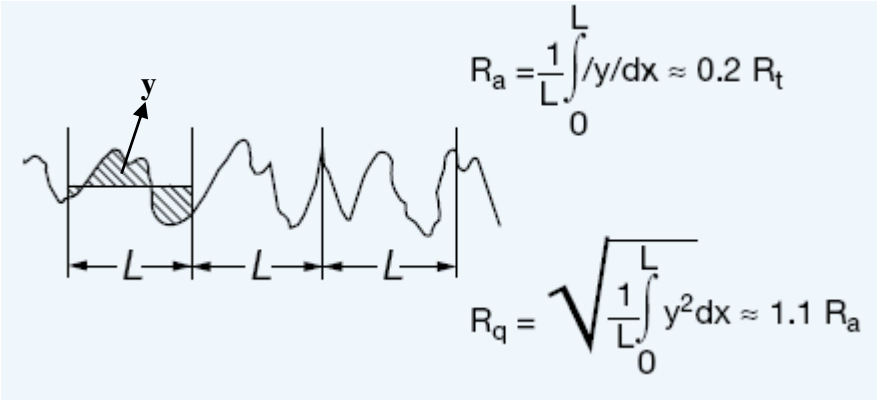
1. 7. 1. 2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey düzensizliği veya pürüzlülüğü kesme kenar kalitesine bağlıdır, yani talaş yığılması veya iş parçasının malzeme kalitesi, kesme parametreleri ve yukarıda bahsedilen diğer nedenler [Akkurt, 2004. Öktem, 2004]. Pürüzlülük yüzeyin mikro yapısıdır. Profilmetre denilen bir cihazla ölçülür. R_t değerlendirilen uzunluk boyunca maksimum tepe-çukur değeridir, yani L örnekleme uzunluğu, R_{max} bir L örnekleme uzunluğundaki yüksekliktir [Sandvik Coromant, 2003].

Yüzey düzensizlikleri, dalgalılık üzerinde yüzey pürüzlülüğü olarak uygulanır ve $W+R_{max}$ grafiği gerçek yüzey kalitesini gösterir [Sandvik Coromant, 2003].

A) R_a, Rq (Ortalama çizgi sistemi)

R_a bir pürüzlülük parametresidir. Profilin orta çizgisinden ayrılmalarının aritmetik ortalamasıdır ve Şekil 1.14.'ün incelenmesi ile görüleceği üzere birbiri ardına gelen birkaç L örnekleme uzunluk boyunca meydana gelen tepe ve çukurların oluşturduğu alanların ortalamasının sonucu olarak belirlenir. Grafikteki R_a değerleri yüzey kalitesinin yetersiz göstergeleridir, yalnızca ortalama sapmayı gösterir ve dalgalılığı içermez.



Şekil 1.14. Ortalama çizgi sistemi (R_a, Rq).

Ortalama çizgi tepe ve çukurlar boyunca merkezi olarak devem eder. Ortalama çizgi, matematiksel olarak çizginin alt ve üstünde yer alan tepe ile çukurları birbirinden alansal olarak ikiye ayırır [Sandvik Coromant, 2003].

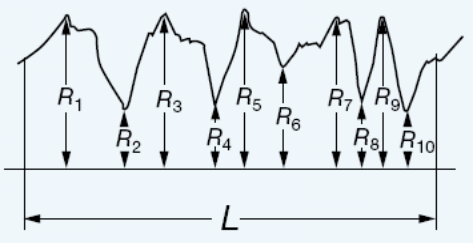
R_q bilimsel ölçüm ve istatistiklerde kullanılan ortalama alanı hesaplamanın diğer bir yöntemidir ve ortalama alanların kareleri toplamının karekökünü almak şeklinde ifade edilir.

$$R_a = \frac{a+b+c+d}{4} \qquad \text{ve} \qquad R_q = \sqrt{\frac{a^2+b^2+c^2+d^2}{4}}$$

R_a değerini profilden kaydederek grafiksel olarak belirlemek daha kolaydır. R_a değeri, pürüzlülük ölçüm cihazları genel kullanımda yaygınlaşmadan önce kullanılmaya başlanmıştır. Pürüzlülük parametresi aletsel olarak belirlendiği zaman R_q değeri elektriksel filtrelerdeki faz etkisinin önemsiz olmasından dolayı basitlik avantajına sahiptir. Ayrıca istatistikî çalışmalar için R_q değerleri, R_a değerlerinden daha önemlidir [Öktem, 2004].

B) R_z (On-nokta Yüksekliği)

R_z aynı örnekleme uzunluğunda Şekil 1.15.'de gösterildiği gibi en yüksek beş tepe ve en derin beş çukur arasındaki ortalama mesafedir [Sandvik Coromant, 2003].



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

Şekil 1.15. R_z'nin hesaplanmasındaki kullanılacak çukurların şematik gösterimi.

1. 7. 2. Yüzey Kalitesi Gereksinimleri

Yüzey kalitesi en iyi şekilde pürüzlülük ve dalgalılıkla tarif edilir. İyi bir yüzey kalitesi elde etmenin yolu, düz siliciye sahip kesicilerin kullanılmasıdır. Silici diğer kesici uçlardan yaklaşık 0.05 mm aşağıda bulunur. Silicinin bulunduğu kenar temel olarak radyal yönde kesme yapar. Kademesiz bir yüzey için f_n (devir başına ilerleme) paralel yüzeyin %60 ile sınırlandırılmalıdır [Öktem, 2004]. İşleme sırasında ilerleme hızının artışı, iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Ayrıca yüksek ilerleme değerleri kesme kuvvetlerini artırdığından, takımda sapmalar meydana gelecek ve yüksek yüzey pürüzlükleri meydana gelecektir [Rahman et al, 2003].

1. 8. Takım Aşınması

Talaş kaldırma işlemi ile ilgili yapılan araştırmaların sonucunda, talaş kaldırma sırasında takımın, takım - talaş ve iş parçası - takım ara yüzeyinde sürtünme, gerilmeler ve yüksek sıcaklıklar oluştuğu, bunun sonucunda da takımda elastik ve plastik deformasyon ile takım aşınmasının oluştuğu anlaşılmıştır [Ghani et al, 2004. Özdemir ve Erten, 2003]. Talaş kaldırma sırasında takımda oluşan şekil değişimleri ve aşınma, talaş kaldırma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Kesme takımlarının performansı; esas olarak aşınma direnci, tokluk ve ısıl direnç gibi malzeme özellikleri tarafından kontrol edilir [Ghani et al, 2004]. Takımda meydana gelen aşınmaların oluşturduğu olumsuzluklar; takım ömrünün azalması ve buna bağlı olarak da üretim maliyetlerinin artması ve işlem kalitesinin düşmesidir. Takım ömrünü doğrulukla belirleyebilmek için takım ömrünü olumsuz yönde etkileyen takım bozukluk mekanizmalarının ve bu mekanizmaların oluşma nedenlerinin bilinmesine gerek vardır. Herhangi bir kesici takım; aşınma, plastik deformasyon veya kırılma yoluyla ömrünü tamamlar [Jawaid et al,1999. Özdemir ve Erten, 2003]. Talaş kaldırma sırasında kesme kenarlarında, normal çalışma durumuna göre yüksek sıcaklık, yüklemeler ve sürtünmelerden dolayı aşınma meydana gelir [Ghani et al, 2004]. Takım ömrü diğer bir ifadeyle takım hasar mekanizmaları, pek çok faktöre bağlı olarak değiştiğinden, kesme şartlarına bağlı olarak takım ömrünü belirlemek

oldukça zordur. Takım ömrünü belirlemek için başvurulan önemli bir teknik, talaş kaldırma sırasında eş zamanlı olarak takımın izlenmesidir.

İdeal bir takım, aşağıda sıralanan su özelliklere sahip olmalıdır [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2000];

1- Yüksek sıcaklıklarda çalışma için yüksek sıcaklık sertliği,
2- Yüksek gerilme karşı yüksek elastik ve plastik deformasyon direnci,
3- Talaş kaldırma sırasında oluşan darbelere karşı yüksek kırılma tokluğu,
4- Difüzyon, kimyasal ve oksidasyon aşınmasına karşı direnç için özellikle yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık,
5- Takım kesme kenarındaki ısı birikimini önlemek için yüksek ısıl iletkenlik,
6- Kesintili talaş kaldırmada yüksek yorulma dayanımı,
7- Kesme sırasında oluşan ısınma ve soğumaya karşı yüksek ısıl şok direnci,
8- Boyutsal kararlılık için yüksek rijitlik,
9- Özellikle yumuşak, sünek malzemelerin işlenmesinde talaş birikmesi oluşumunu (Built -up Edge-BUE) önlemek için uygun sürtünme özellikleri.

1. 8. 1. Takım Bozukluk Mekanizmaları

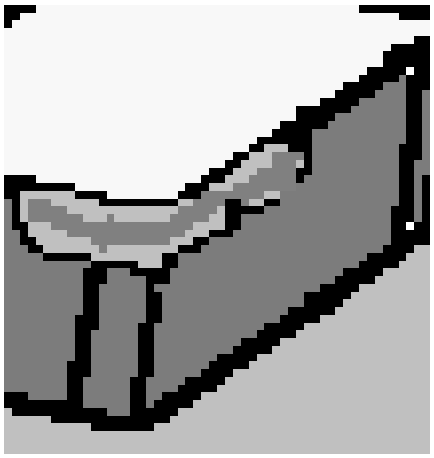
Takım hasarı; aşınma, plastik deformasyon ve kırılma nedeniyle meydana gelir [Özdemir ve Erten, 2003]. Takım aşınması, takımın iş parçasıyla ve talaşla temas halinde olan yüzeylerinde meydana gelen bozukluk durumuna veya aşınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılabilir. Aşınma mekanizmaları; takım malzemesi, iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, talaş kaldırma yöntemi ve takım geometrisine büyük ölçüde bağlıdır [Şahin, 2001. Aslan, 2005]. Takım aşınma tipleri, iş parçası ve takım arasındaki malzemenin uyumluluk değişkenlerinden dolayı farklılık gösterir. Takım aşınmasıyla ilgili yapılan çalışmalarda baskın olarak gözlenen bozukluk mekanizmaları; serbest yüzey aşınması, krater aşınması, çentik, çatlama ve kırılma olmaktadır. Talaş kaldırmayla ilgili çalışmalarda ki temel amaç, göz önüne alınan takım hasar mekanizmasından

takım ömrünü tespit edecek yöntemler geliştirmektir [Aslan, 2005. Ghani et al, 2004].

Takımda meydana gelen bozukluk mekanizmaları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. 8. 1. 1. Serbest Yüzey Aşınması

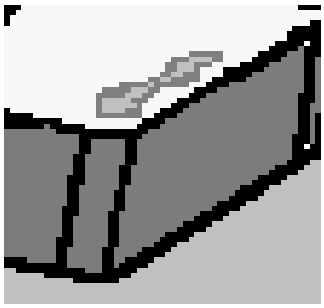
Takımın işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temas halinde olan yan kenar yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan aşınma, serbest yüzey aşınması olarak adlandırılır. Sürtünmeden dolayı takım yan kenarında oluşan aşınma bölgesinin genişliği, serbest yüzey aşınmasının miktarı olarak alınır. Serbest yüzey aşınması belirli bir değere ulaştığında, takım kesme işlemini yerine getiremez ve titreşimlere neden olur. Oluşan titreşimler iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca aşınmadan dolayı meydana gelen sürtünmeden dolayı yüksek ısı açığa çıkar. Kesme kenarında, sıcaklığın yükselmesinden dolayı takımda meydana gelen deformasyon hızlanacaktır. Serbest yüzey aşınmasının oluşma nedeni abrazyon aşınmasıdır. Serbest yüzey aşınma bölgesi Şekil 1.16 ve Şekil 1.18'deki gibi genellikle üniform genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].



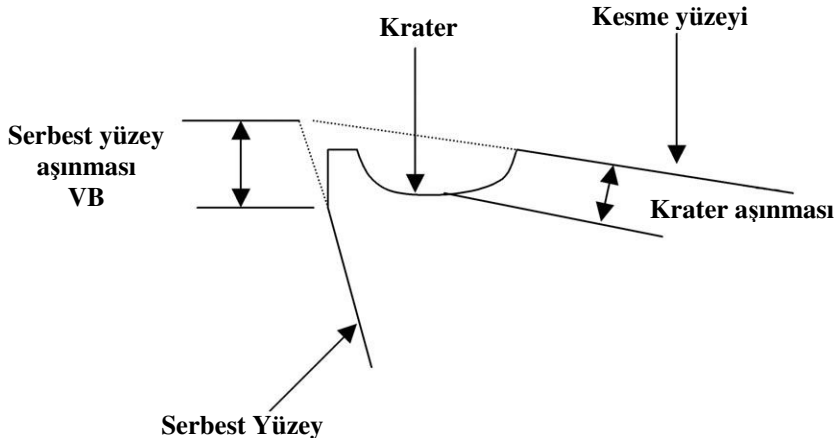
Şekil 1.16. Serbest yüzey aşınması.

1. 8. 1. 2. Krater Aşınması

Krater aşınması, takım – talaş ara yüzeyinde, talaşın takım ile temasta olduğu alanda ortaya çıkan talaş yüzeyi aşınmasıdır. Krater aşınması, iş parçasından kaldırılan talaşın takım üzerinden kayarken temasta bulunduğu alanda oluşturduğu baskıyla ve/veya talaş altındaki aşırı kazıma ile oluşmaktadır. Talaş yüzeyinde aşınma sonucunda oluşan krater Şekil 1.17. ve Şekil 1.18.'de görüldüğü gibi takımın kesici kenarının bir miktar gerisinde oluşmaktadır. Krater aşınmasının küçük değerleri takım ömrünü sınırlamaz fakat krater aşınmasının ilerlemesi ile aşınma bölgesi, takım kesme kenarına yaklaşacağı için kesme kenarlarında zayıflama görülmesine ve takımda hızlı bir şekilde kırılma olayı gerçekleşmesine sebep olur. Krater aşınması takım bozukluk durumunun oluşma nedeni abrazyon, difüzyon veya kimyasal aşınmalardır [Ghani et al, 2004]. Bu aşınmaların oluşmasında; takım – talaş ara yüzeyindeki yüksek sıcaklıklar önemli rol oynamaktadır [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].



Şekil 1.17. Krater aşınması.

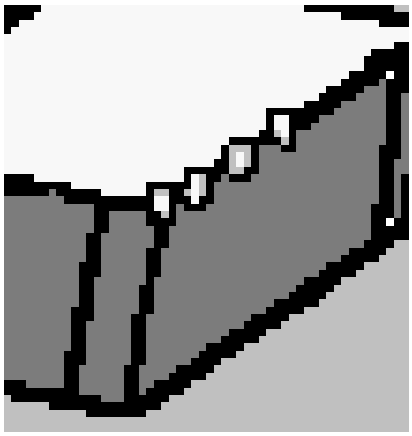


Şekil 1.18., Serbest yüzey aşınması ve krater aşınmasının iki boyutlu çizimi.

1. 8. 1. 3. Çentik Aşınması

Çentik aşınması, takım kesme kenarlarından küçük parçaların kırılmasıdır. Çentik aşınması, metal kesme işlemi sırasında, takım ile iş parçasının temas ettiği kesme derinliği mesafesinin bitimine yakın bölgelerde, takım üzerinde oluşur. Şekil 1.19.'da çentik aşınması gösterilmektedir. Çentik aşınması, takımın talaş ve yan kenar yüzeyini aynı zamanda etkiler. Çentik aşınması takım bozukluk durumunun oluşma nedenleri; mekanik gerilmeler, ısıl gerilmeler ve iş parçasının sert bir yüzey tabakasına sahip olması veya işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan talaşın özelliklerinden kaynaklanan abrazyon aşınmasıdır. Çentik aşınması, takım malzemesinin yüksek sıcaklık sertliği ve gerilmelere karşı deformasyon direncini arttırılarak, azaltılabilir.

Çentik aşınması seramik gibi gevrek takımlarla yapılan metal kesme işlemlerinde veya sert yada abraziv parçacıklar içeren metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesi durumunda sıklıkla görülür. Kesme sırasında oluşan değişken kesme kuvvetleri veya sistem rijitliğinin düzgün olmaması nedeniyle meydana gelen titreşimler de kenar çentiklemesine neden olur [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].



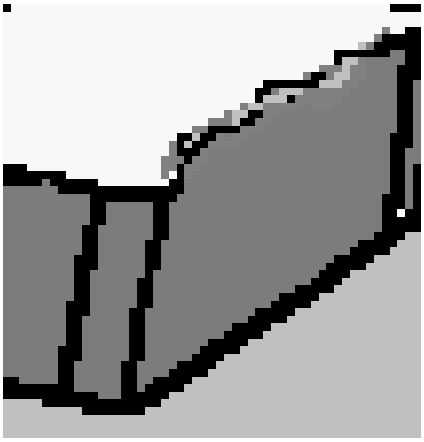
Şekil 1.19. Çentik aşınması.

1. 8. 1. 4. Isıl ve Mekanik Çatlaklar

Mekanik çatlaklar, talaş kaldırma sırasında oluşan değişken kesme kuvvetlerinin, kesici takım üzerinde oluşturduğu takım bozukluk durumudur. Mekanik çatlaklar, takım üzerinde malzeme kaybına yol açmaz ancak takım kırılmasını hızlandırırlar. Isıl çatlaklar, talaş kaldırma sırasında oluşan yüksek takım–talaş sıcaklıkları nedeni ile takımın genleşmesi ve kesici takım soğuduğunda takımda meydana gelen büzülme etkisiyle oluşur. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olur [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].

1. 8. 1. 5. Ağız Birikimi Oluşumu (BUE)

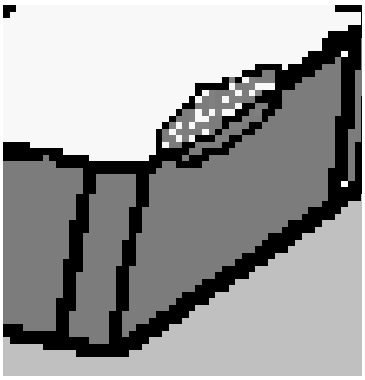
İş parçası malzemesinin, kesici takımın kesme kenarına yapışması sonucu oluşan takım bozukluk durumudur (Şekil 1.20.). Ağız birikimi oluşumu takım bozukluk durumunun oluşma nedeni adhezyon aşınmasıdır. Ağız birikimi oluşumu genellikle düşük kesme ve ilerleme hızları ile yumuşak malzemelerin işlenmesi sonucu oluşur. Takım kesme kenarına yapışan talaşın, işleme sırasında ayrılması, beraberinde takım malzemesinden de küçük zerrecikler uzaklaştırır ve aşınmaya sebep olur [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].



Şekil 1.20. Ağız birikimi oluşumu.

1. 8. 1. 6. Plastik Deformasyon

Metal kesme işlemi sırasında, takım - talaş ara yüzeyinde, takım ve talaşın birbirine temas ettiği alan üzerinde, basma gerilmelerinden dolayı takımın deforme olmasıdır (Şekil 1.21.). Plastik deformasyon, takım bozukluk durumunun oluşma nedeni yüksek mekanik gerilmeler ve yüksek sıcaklıklardır. Genellikle yüksek kesme kuvvetlerinin oluştuğu yüksek ilerleme değerlerinde ve işleme sırasında yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olan ve sıcaklığa bağlı olarak da takımın sertliğini kaybetmesine sebep olan yüksek kesme hızı değerlerinde, takımın kesme kenarlarında deformasyon oluşur ve talaş kaldırma işlemi sınırlanır [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].



Şekil 1. 21. Plastik deformasyon.

1. 8. 1. 7. Takım Kırılması

Kesici takımın kesme ucunun veya bozukluk mekanizmalarına bağlı olarak kesme kenarlarının kırılması, takım kırılması olarak adlandırılır. Takım kırılması genellikle seramik esaslı takımlarda, takım bozukluk mekanizmalarının çok fazla etkisi olmadan gerçekleşir. Çünkü yüksek sertliğe sahip takımlar, yüksek sertliklerinden dolayı süneklikleri az olmakla birlikte gevrektirlerdir. Takım kırılması hasarını önlemek ve takım ömrünü yükseltmek için kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijid takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu arttırılmış takımların kullanılması gereklidir [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].

1. 8. 2. Takım Bozukluk Mekanizmalarının Oluşma Nedenleri

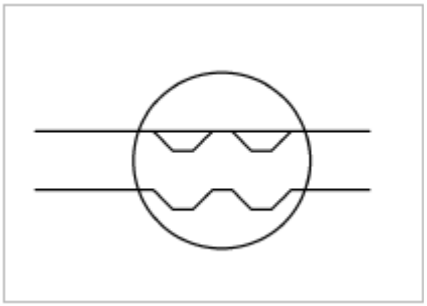
Kesici takım üzerinde oluşan takım bozukluk mekanizmalarına yaygın olarak neden olan aşınma mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Adhezyon (yapışma) aşınması,
2. Abrazyon (sürtünme) aşınması,
3. Difüzyon aşınması,
4. Oksidasyon aşınması,
5. Yorulma.

Bu aşınma mekanizmaları hakkında gerekli bilgiler alt bölümler verilmiştir.

1. 8. 2. 1. Adhezyon (yapışma) aşınması

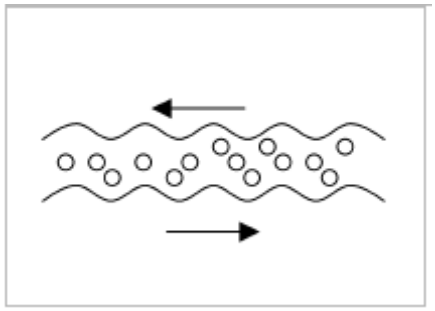
Kesici takım kenarları üzerinde meydana gelen yapışma aşınması, kesici takım ve iş parçasının temas noktalarında oluşan mikro-kaynakların, kesicinin hareketi nedeniyle kırılması sonucu oluşur. Mikro-kaynaklar, takım ve iş parçasının temas bölgelerinde oluşan yüksek basınçlar ve sıcaklıklar nedeni ile metallerin akma sınırına gelmesi ile oluşur [Aslan, 2005. Su et al, 2006]. Adhezyon aşınmasına kesme sırasında oluşan talaşın veya küçük parçacıkların, kesme takımına yapışması da neden olur. Şekil 1.22.'de adhezyon aşınmasının meydana gelişi gösterilmektedir [Şahin, 2001].



Şekil 1.22. Adhezyon aşınmasının meydana gelişi.

1. 8. 2. 2. Abrazyon (sürtünme) aşınması

Sürtünme aşınması diğer bir deyişle abrazyon aşınması, talaş altındaki sert parçacıkların takım yüzeyi ve iş parçası arasında taşlamaya neden olarak kesicide oluşturduğu aşınma veya iki yumuşak yüzey arasına sert parçacıkların girmesi ile sürtünmeden dolayı oluşan aşınmadır (Şekil 1.23.). Abrazyon aşınmasına sebep olan sert parçacıklar iş parçasında bulunurlar ve kesme işleminde talaşla birlikte takım yüzeyiyle etkili olurlar. Abraziv aşınma, çoğu zaman takım ömrünü kriteri olarak kullanılan serbest yüzey aşınmasının, çentik aşınmasının ve burun yarıçapı aşınmasının kaynağıdır [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].

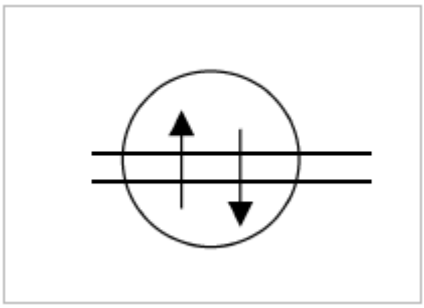


Şekil 1.23. Sürtünme aşınması mekanizması.

1. 8. 2. 3. Difüzyon aşınması

İşleme sırasında, takım ve iş parçasının birbirine temas eden yüzeylerinin, işleme sırasında oluşan sıcaklık ve basıncın etkisi sonucu kimyasal reaksiyonla birbirini aşındırması ile difüzyon aşınma mekanizması oluşmaktadır [Aslan, 2005. Su et al, 2006]. İşleme sırasındaki yüksek sıcaklıklardan ve basınçtan dolayı, takım ve iş parçası malzemesinin atomları karşılıklı olarak birbirleri üzerine nüfuz eder (Şekil 1. 24.) veya talaş malzemesiyle katı bir çözelti oluşturur. Bu işlem, iki malzeme arasında ara yüzeyde ya iş parçasının atomlarının difüzyona uğraması ya da takımın yüzey katmanıyla reaksiyon bölgesinde meydana gelerek takım yüzeyini zayıflatır ve takımın talaş yüzeyi üzerinde bir krater aşınması oluşturur [Şahin, 2001]. Difüzyon aşınma hızı, takım malzemesinin iş parçası içinde çözülme kabiliyetine ve yüksek sıcaklıkta takım ile talaş arasındaki temas süresine bağlıdır. Difüzyon aşınma hızı,

kesme hızına bağlı olarak artan kesme sıcaklığının, üssü olarak artar [Özdemir ve Erten, 2003].



Şekil 1.24. Difüzyon aşınması

1. 8. 2. 4. Oksidasyon aşınması

Takım bileşiklerinin atmosferdeki oksijenle reaksiyona girmesi ile takım yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Oluşan oksit tabakası, kesme işlemi esnasında kopar ve takımda aşınmalara sebep olur. Takım bozukluk durumunun oluşmasına neden olan bu oksitlenme olayına oksidasyon aşınması denir. Bu aşınma genellikle, takım üzerinde talaşla doğrudan temasta olmayan yüzeylerde meydana gelir. İş parçasının oksidasyonla aşınması nedeniyle oluşan sert oksit parçacıkları, abrazyon aşınmasını tetikler. Alüminyum oksit bazlı seramik takımlarda malzeme özelliklerinden dolayı oksidasyon aşınması oluşmaz [Özdemir ve Erten, 2003. Şahin, 2001].

1. 8. 2. 5. Yorulma

Yorulma, kesme takımında ısının dalgalanması ve kesme kuvvetlerinin değişimiyle meydana gelir. Yorulma sonucunda takımda kırılmalar gözlenir[Ghani et al, 2004].

1. 9. Yüksek Sıcaklık Çelikleri

Yüksek işletme sıcaklıkları için öngörülen, özellikle sürünme ve tufallanma eğilimleri azaltılmış çeliklerdir. Söz konusu sıcaklıkta, kısa süreli çekme veya çoğu kez sürünme değerlerine göre seçilenler yüksek sıcaklık dayanımlı, tufalanma vb. kimyasal etkilere daha fazla direnç gösterenler ise ısıya dayanıklı çelikler olarak adlandırılır. Isıya dayanıklılığın sağlanmasında, oluşturdukları ince ve yoğun oksit tabakası yüzeye kuvvetle bağlanan Cr, Al, Si alaşım elementleri önemli rol oynar. Yüksek sıcaklık dayanımının iyileştirilmesinde ise en başta sürünme hızını azaltan veya ölçülebilir sürünme başlangıcını daha üst sıcaklıklara öteleyen olaylardan yararlanılır.

İşletme sıcaklığı arttıkça, çelikler gibi yarı kararlı malzemelerde içyapının denge durumuna yaklaşması ve dolayısıyla başlangıç özelliklerinden zamanla az veya çok uzaklaşma söz konusudur. Buna göre martenzitik çelikler ancak temperlendikleri sıcaklığa kadar kullanılabilirler. En az özellik değişimi perliti küreselleştirilmiş (yumuşatma tavı) ferritik-perlitik çeliklerde görülür.

Bu bilgilerin ışığında, çökelme sertleşmesi uygulanmış yüksek sıcaklık çeliklerinin davranışlarının sürdürmeleri de çökeltinin ısıl ve kimyasal kararlılığına bağlıdır. Yüksek sıcaklık dayanımlı çelikleri içyapılarına ve önde gelen alaşım elementlerine göre sınıflandırmak mümkündür [Bargel and Schulze, 1980].

a- Alaşımsız ve alaşımlı çelikler,
b- Yüksek alaşımlı ferritik krom çelikleri,
c- Yüksek alaşımlı ostenitik krom-nikel çelikleri.

1. 9. 1. Yüksek Alaşımlı Ostenitik Krom-Nikel Çelikleri

Molibden, vanadyum, volfram ve niyobyum katkılarından ötürü kimyasal ve ısıl kararlı özel karbürler içerirler. Böylece yüksek sıcaklık dayanımlarında ek artış

sağlanan ostenitik çeliklerden, öncelikle termik santrallerde 800 ^{o}C yüzey sıcaklıklarına kadar yararlanılır.

Gaz türbini, tepkili uçak ve füze yapımıyla ilgili olarak yüksek sıcaklık davranışının daha da iyi olması istenen parçalarda ise süper alaşımlar kullanılır [Bargel and Schulze].

1. 9. 2. Nikel ve Nikel Alaşımları

Nikel cevherlerinde çoğunlukla kobalt da bulunur. Özelliklerinde önemli benzerlikler görülen bu iki ağır metalden nikele ait bazı değerler Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Nikelin fiziksel ve mekaniksel özellikleri.

Yoğunluk	g /cm^3	8, 88
Erime sıcaklığı	^{o}C	1453
Elastiklik modülü	N / mm^2	210000
Genleşme katsayısı	10^{-6} /K	13
Çekme dayanımı	N / mm^2	370 – 700
Kopma uzaması	%	60 – 2

Nikel YMK kristal yapısından dolayı, kafesi 417 ^{o}C nin altında SDH olan kobalta göre daha sünek davranır ve geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kobalt ise örneğin sert metallerin (sinterlenmiş karbürlerin) ana kütlesini oluşturur. Mıknatıs malzemeleri ve takım çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır [Bargel and Schulze, 1980].

1. 9. 2. 1. Saf Nikel

Saf nikelin teknik bakımdan en önemli özelliği, korozyona dayanıklılığıdır. Demir esaslı alaşımların korozyondan korunmasını nikel sağlar. Demirin üstüne kaplanan nikel tabakası gözeneksiz yapısından dolayı demiri etkin bir şekilde korur.

Saf nikel büyük ölçüde sülfürlü cevherlerden kavurma ve indirgeme işlemleriyle kazanılır. Cevherde demir, kobalt, bakır ile diğer metaller ve metal olmayan katışkıların bulunması çok karmaşık bir arıtma sürecinin uygulanmasını zorunlu kılar. Nikelin yüksek fiyatının önemli bir nedeni de metalurjisindeki bu güçlüktür. Oksitli cevherlerden ise çoğunlukla saf metal yerine ferronikel elde edilmesi, çelikleri alaşımlandırmak açısından yeterlidir (paslanmaz çelikler ve % 36 nikelli invar çeliği gibi).

Nikelin plastik şekillendirilmesi genelde östenitik çeliğinkine benzemekle birlikte, saf durumda kükürde karşı kimyasal ilgisinin fazla olması bazı farklılıklar yaratabilir. Nikelin korozyona dayanıklılığını koruyarak mekanik dayanımını yükseltmek ve ayrıca kükürtlü gazlara duyarlılığını da azaltmak amacıyla nikele toplamları % 5'i geçmemek üzere değişik elementler katılır.

Nikelin bileşiminde çözünme sınırını aşan miktarda karbon bulunması talaş kaldırılmasını kolaylaştırır. Saf nikel sünekliğinden dolayı takıma sıvandığı için ancak düşük hızla işlenebilir. Çökelme sertleşmesine uygun % 2 berilyumlu nikelden yüksek sıcaklıklarda çalışabilen yay, membran vb. parçalar imal edilebilir [Bargel and Schulze, 1980].

1. 9. 2. 2. Süper Alaşımlar (Yüksek Sıcaklık Alaşımları)

Büyük miktarda alaşım elementleri içeren süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım ve 1100 ^{o}C'ye kadar sürünme ve korozyon direncinin kombinasyonunu sağlamak için tasarlanır.

Bu malzemeler içerdikleri ana bileşene göre sınıflandırılmaktadır. Bu ana bileşenler nikel, kobalt ve nikel demiridir. Diğer alaşım elementleri refrakter metaller (Nb, W, To), krom ve titanyumdur [Askeland, 1998]. Bunlar nikel (% 50–75) veya kobalt (% 50–60) esaslı, yeterli oksidasyon dayanıklılığını sağlamak üzere % 15 ten fazla krom katılmış ostenitik malzemelerdir [Bargel and Schulze, 1980].

Yüksek dayanım ve sürünme dirençleri elde etmek için alaşım elementlerinin yüksek sıcaklıklarda çok sağlam dengeli yapı oluşturması zorunludur [Askeland, 1998]. Yüksek sıcaklık dayanımlarının üstünlüğü içyapılarındaki karbür veya diğer ana bileşiklerin çok kararlı olmasından kaynaklanır [Bargel and Schulze, 1980]. Çökelme sertleşmesi uygulanan türlerinde optimum özelliklere erişebilmek için ısıl işlemin çok iyi kontrol edilmesi gereklidir. Dağılım sertleşmesinin etkin olduğu malzemelerde parçacıklar yapay şekilde de üretilip ana kütleye katılabilir. Böylece parçacık bileşimi, büyüklüğü ve dağılımını ideal duruma daha fazla yaklaştırmak mümkün olur [Bargel and Schulze, 1980].

Süper alaşımların üç sınıfı; nikel, nikel-demir ve kobalt esaslı olanları, genellikle kullanımlarına uygun alışılmamış isimlere sahiptir [Askeland, 1998].

1. 9. 2. 3. Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Termik kuvvet makinalarının verimini iyileştirmek için malzeme biliminde öncelikle izlenen yol, artırılan çalışma sıcaklığına dayanabilecek malzemeleri geliştirmektir [Bargel and Schulze, 1980]. Günümüzün termik makinalarının tipik uygulamaları; türbinler, jet motorlarının pervane kanatları ve bıçakları, ısı eşanjörleri, kimyasal reaksiyonlu basınçlı kap parçacıkları ve ısıl işlem ekipmanlarında kullanılan [Askeland, 1998] aşırı ısıl zorlanma ile karşılaşan malzemelerin büyük bir bölümü, çoğunluğu nikel esaslı olan yüksek sıcaklık alaşımlarıdır [Bargel and Schulze, 1980].

Süper alaşımlarda sürünme ve tufalanmaya dayanıklılık özellikleri aranılır [Bargel and Schulze, 1980]. Bu özelliklerin yanısıra yüksek sıcaklıklarda çalışan

alaşımlar aynı zamanda yüksek oksidasyon dayanımı, tokluk, yüksek ısıl yorulma ve düşük yoğunluk gibi özelliklere de sahip olmalıdır [Kurt].

Bir malzemenin belirli bir kullanım sıcaklığının üzerine çıkılmamak ve tufalanmaya dayanıklı olarak nitelenebilmesi için, yüzeyindeki oksit tabakası koruyucu kalınlığı çok fazla artmayan ve çatlamayan türden olmalıdır. Bu özellikler nikel alaşımlarında sağlanır. Bulunduğu gaz atmosferinin karakteri, bir parçanın işletme ömrünü ve müsaade edilebilir sıcaklığını büyük ölçüde etkiler. Özellikle birbiri ardına oksitleyici ve redükleyici olabilen ortamlar, malzemenin dayanıklılığını sağlayan kararlı tufal tabakasının oluşumunu güçleştirir. Yeterince korunamayan yüzeylerde içyapıya azotunda girebilmesi (örneğin demir-krom-alüminyum alaşımlarında nitrür meydana getirerek) gevrekleşmeye yol açar [Bargel and Schulze, 1980].

Sürünme, sabit basınç veya kuvvet altında genellikle çok küçük hızlarda malzemelerin göstermiş oldukları deformasyona verilen isimdir. Belirli bir sıcaklığın üstünde parçaların çalışması durumunda sürünme hızı artış gösterir. Ergime sıcaklığı yüksek olan bir alaşımın sürünme açısından iyi sonuç verebileceği söylenebilir. Çünkü sürünme hızı yaklaşık 0,4 T_m (T_m malzemenin kelvin cinsinden ergime sıcaklığı) ve üzeri sıcaklıklarda önemli derecede artış gösterir. Bu nedenle günümüzde 1453 ^oC ergime sıcaklığıyla nikel alaşımları kullanılmaktadır [Kurt].

Nikel esaslı süper alaşımlarda sürünme direnci artışı için çok ince boyutta homojen dağılmış çökelek partiküller Al veya/ve Ti'dan küçük miktarlarda bulunur. Bunlar yapı içerisinde Ni_3Al, Ni_3Ti veya $N_3(Al,Ti)$ metaller arası bileşikler oluştururlar [Ghanil et al, 2004]. Nikel esaslı süper alaşımlar titanyum ve alüminyum katkılar içerdiklerinden çökelme sertleşmesine elverişlidirler. Ancak yüksek sıcaklıklarda uzun süre kalmaları halinde aşırı yaşlanabilecekleri diğer bir deyişle kullanım sürelerinin bu bakımdan sınırlı olduğu hesaba katılmalıdır. Sertleştirilebilen nikel alaşımlarının dayanımını kobalt, molibden ve volfram katkılarıyla ayrıca yükselir.

Korozyon dayanıklılığı krom, molibden ve bakır ile arttırılır. Bu alaşım kimyasal kararlılık bakımından ostenitik paslanmaz çeliklerden üstündür. % 45 ten fazla nikel içeren malzemelerde gerilme korozyonu çatlamasına hemen hemen hiç rastlanmaz [Bargel and Schulze, 1980].

1. 9. 3. Inconel 718

Inconel 718 yüksek mukavemetli, korozyon dirençli ve – 423 – 1300 ^{o}F sıcaklıkları arasında kullanılan nikel - krom süper alaşımıdır. Inconel 718 iyi çekme, yorulma, sürünme ve kopma gerinimine sahiptir. Bundan dolayı geniş bir uygulama alanında kullanılır. Süper alaşımlar; gaz türbini, deniz altı, uzay araçları, roket motorları, nükleer reaktörler, petro kimyasal cihazlar, sıcak takımlar ve cam endüstrisi alanlarında kullanılırlar. Çünkü bu bölümler yüksek sıcaklık gerinimi ve yüksek korozyon direnci gerektirirler. Inconel 718 uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan ticari süper alaşımdır. Bu malzemenin tipik bileşim sınırları Tablo 1.2.'de verilmiştir [Special Metals Corporation. Jawaid et al, 2001].

Malzemeye ait bazı fiziksel sabitler, modül bilgileri ve ısıl özellikleri Tablo 1. 3.'de verilmiştir. Tablodaki değerler deney numunesinin koşuluna ve bileşimine bağlı olarak çok az değişmektedir. Bu değerler tipik değerler olmaktadır [Special Metals Corporation].

Tablo 1.2. Inconel 718'in kimyasal bileşim sınırları, %.

Nikel	**50.00–55.00**
Krom	**17.00–21.00**
Demir	**Kalan**
Niyobyum	**4.75–5.50**
Molibden	**2.80–3.30**
Titanyum	**0.65–1.15**
Alüminyum	**0.20–0.80**
Kobalt	**1.00 en yüksek**
Karbon	**0.08 en yüksek**
Manganez	**0.35 en yüksek**
Silisyum	**0.35 en yüksek**
Fosfor	**0.015 en yüksek**
Sülfür	**0.015 en yüksek**
Bor	**0.006 en yüksek**
Bakır	**0.30 en yüksek**

Tablo 1.3. Inconel 718'in kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Yoğunluk (gr/cm^3)	
Çözündürme	**8.193**
Çözündürme ve yaşlanma	**8.221**
Ergime aralığı (^{o}C)	**1260–1336**
Özgül ısı (21 ^{o}C , J/kg ^{o}C)	**435**
Manyetik geçirgenlik	**1,0011**
Elastikiyet modülü (Gpa)	
21.111 ^{o}C'de	**199.897**
1093.333 ^{o}C'de	**98.570**
Isıl iletkenlik (kcal/hm ^{o}C)	
21.111 ^{o}C'de	**9.80**
1093.333 ^{o}C'de	**24,7**
Elektriksel öz direnç (ohm/circ mil/ft)	
21.111 ^{o}C'de	**725**
1093.333 ^{o}C'de	**796**
Çekme dayanımı (Mpa)	
Oda sıcaklığında	**1240,8–1275,2**
648.889 ^{o}C'de	**965–999**
Akma dayanımı (Mpa)	
Oda sıcaklığında	**1034**
648.889 ^{o}C'de	**792,7–965**

Inconel 718 çözündürme ve yaşlanma uygulamalarıyla belirlenmiş bir alaşımdır. Alaşım ikincil fazların metal matris içerisinde çökeltilmesiyle sertleştirilir. Nikelin ikincil fazlarının (alüminyum, titanyum, niyobyum) çökelmesine, 593 ^{o}C ve 815 ^{o}C sıcaklık değişimindeki ısıl işlem sebep olur. Isıl işlem sırasında nikel matrisindeki iç metalik bileşenlerin (Ni_3Nb) çökelmesiyle kuvvetlendirme mekanizmaları gerçekleştirilir. Eğer ikincil fazlar zamanından önce meydana gelirse, doğru olarak çökelmeyecektir ve alaşımın mukavemeti gerçekleştirilemeyecektir. Alaşımın ikincil fazlarından niyobyuma diğer alternatifler olsa da niyobyumun benzersiz olduğu görülmüştür. Çünkü niyobyum sayesinde yaşlanma gerilmesi kırıkları gerçekleşmemektedir ve kaynak sırasında yavaş yaşlanma sağlamaktadır. Bundan dolayı çözündürme ısıl işlemi çok dikkatli yapılmalıdır. Alaşımın metalik ve fiziksel özeliklerinin belirlenmesinde çözündürme ve yaşlanma uygulamalarının çok büyük etkisi vardır. Farklı ısıl işlem uygulamalarıyla farklı özellikler elde edilir. Alaşıma uygulanan ısıl işlemin tayininde, alaşımın kullanıldığı yerdeki çalışma sıcaklığı en büyük faktördür. Çünkü ısıl işlem uygulanmış malzemenin dayanımına en büyük etki eden faktör yaşlanma sıcaklığıdır. Eğer malzeme bu sıcaklıklarda kullanılırsa aşırı yaşlanır ve dayanımını kısa sürede kaybeder. Inconel 718 için

genellikle iki ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu iki işlem arasındaki farklılık çözündürme sıcaklıkları, yaşlanma sıcaklık ve bekleme sürelerindedir.

Birinci ısıl işlemimizde alaşıma 926–1010 ^{o}C arasında çözündürme uygulanır ve takibinde 718 ^{o}C'ye su ile hızla soğutulur ve bu sıcaklıkta 8 saat bekledikten sonra 621 ^{o}C'de 18 saat tutularak yaşlanma işlemi uygulanır ve daha sonra hava ile soğutulur.

İkinci ısıl işlememizde alaşıma 1037–1065 ^{o}C arasında çözündürme uygulanır ve takibinde 760 ^{o}C'ye su ile hızla soğutulur ve bu sıcaklıkta 10 saat bekledikten sonra 648 ^{o}C'de 20 saat tutularak yaşlanma işlemi uygulanır ve daha sonra hava ile soğutulur [Special Metals Corporation].

1. 9. 3. 1. Inconel 718 in İşlenebilirliği

Nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718 işlenmesi zor olan malzemelerden biridir. Çünkü Inconel 718 yüksek sıcaklıkta yüksek sertliğe ve gerilime sahiptir. İdeal işleme özelliklerinin belirlenmesinde malzemenin mekanik özellikleri, takım tezgâhı rijitliği, ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve kesme takımı geometrisi parametreleri büyük rol oynar [Nalbant et al, 2006]. Isıl dirençli süper alaşımların zayıf işlenebilirliğinden sorumlu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Inconel 718'in yüksek sıcaklık özelliklerinden dolayı, işleme sırasında mukavemetleri korunur. Bu özellikten dolayı yüksek ısı oluşumu gerçekleşir. Isı üretimi alaşımın içyapısını genellikle değiştirmekte ve artık gerilmelere sebep olmaktadır. Ayrıca takımın kesme kenarı kolaylıkla aşınmaktadır.

Hassas gerilme duyarlılıkları olmaları ve kolayca sertleşmeleri daha fazla takım aşınmasına sebep olur.

Yüksek aşındırıcı karbür tanecikler abraziv aşınmaya sebep olur.

Zayıf ısıl iletkenlik talaş yüzeyinde 1200 ^{o}C üzerinde kesme sıcaklıklarına sebep olmaktadır. Bu da kesme takımının yumuşamasına neden olmakta ve takım ömrü kısalmaktadır [Sharman et al, 2006].

Nikel esaslı süper alaşımlar bazı takım malzemeleriyle kimyasal yakınlığa sahiptir. Bu takımlar difüzyon aşınmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden seçilen takımların yüksek sıcaklılarda kimyasal kararlılığa sahip olmaları gerekmektedir.

Nikel alaşımların kesme takımı üzerine yapışması ve kaynağı, genellikle işleme sırasında meydana gelmekte ve takım malzemesinden ayrılması sonucunda büyük çentiklere ve kırılmalara sebep olmaktadır.

Nikel esaslı süper alaşımların düşük kesme hızlarında işlenmesinde ağız birikimi oluşumu meydana gelir. Kesme hızı yükseldiği zaman ağız birikimi oluşumu kaybolmaktadır fakat bunun sonucunda da yüksek sıcaklıklar üretilmektedir.

Inconel 718'de yüksek kesme hızları, kesme takımında plastik deformasyon, krater, çentik ve kırılma aşınmaları yol açmaktadır. Bunun neticesinde de kesme kuvvetleri yükselmektedir [Nalbant et al, 2006].

Yüksek mukavemetlerinden dolayı kesme kuvvetleri yüksek değerlere ulaşmakta tezgâh sistemi harekete geçmekte ve titreşim üretmektedir. Buda yüzey pürüzlülüğü kalitesini tehlikeye atmaktadır [Nalbant et al, 2006. Dudzinski et al, 2004].

1. 9. 4. Titanyum ve Alaşımları

Titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Titanyum esaslı ürünler, çıkarılma ve ayrıştırılma için karmaşık işlemlere ihtiyaç duyma, maden olarak yoğun bulunmama ve buna bağlı olarak da çıkarma ve ayrıştırma için gerekli olan tesislerin yatırımlarının yeterli ölçüde karşılayamama ve son olarak da üretim maliyetinin fazlalığı gibi sebeplerden kaynaklanan yüksek maliyetleri ile dikkat çekerler. Ancak yukarıda sayılan sebeplerden dolayı üretim maliyetleri yüksek olan titanyum, üstün özellikleri sayesinde cazibesini korur. Titanyumun üstün özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [Çakır ve Ensarioğlu, 2005. Xu and Geng, 2002].

- Mükemmel düşük sıcaklık dayanımı [Akmandor ve Erdem, 2004],
- Düşük özgül ağırlık [Akmandor ve Erdem, 2004],
- Yüksek sıcaklık dayanımı [Jawaid et al, 1999],
- Düşük ısıl iletkenlik [Wang et al, 2004],
- Düşük sıcaklık yükselişi,
- Isıl büzülmelere yüksek direnç,
- Mükemmel korozyon direnci [Lacalle et al, 1998],
- Son derece düşük mıknatıslık [Pasinli, 2004],
- Aşırı iletkenlik (Ti-Nb esaslı alaşımlarda görülür.),
- Hidrojen emme,
- Yüksek kimyasal reaktivite [Su et al, 2006],
- İyi görüntü.

Talaşlı imalat, titanyum ürünlerin imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Örnek olarak gösterilecek olursa, uçak ve uzay endüstrisi için üretimi gerçekleştirilen gaz

türbinin parçası olan motor diskinde üretiminin % 75'i tornalama ve % 5'i de delme işlem ile gerçekleştirilir; kompresör kapağı üretiminin % 20'si tornalama, % 40'ı frezeleme ve % 20'si de delme işlemleriyle gerçekleştirilirken; pervane üretiminin ise frezeleme ve tornalama ile % 80'i yapılmaktadır [Special Metals Corporation].

Titanyum alaşımları, kimyasal reaktifliklerinin yüksek olması nedeniyle kesici takıma kaynak olma eğilimlerinin fazla olması, ısıl iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle takım-talaş ara yüzeyindeki temas alanında sıcaklığın yükselmesine sebep olmaları ve mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda korumaları nedeniyle işlenebilirlikleri zor olan malzemeler grubuna girmektedir [Wang et al, 2004].

Titanyum; mükemmel korozyon direnci, iyi yüksek sıcaklık özellikleri ve yüksek dayanım-ağırlık oranı ile nispeten hafif bir metaldir. Titanyumun yoğunluğu 4.43 g/cm^3'dir. Titanyumun yoğunluk değeri yaklaşık olarak demirin yoğunluğunun yarısıdır. Isıl iletkenliği 7.1 W/m ^{o}K'dır ve bu değer demirinkinin yaklaşık beşte birine eşittir. Ergime sıcaklığı ise demirinkinden yaklaşık 130 ^{o}C'e yüksek olup 1670 ^{o}C'dir [Lacalle et al, 1998]. Titanyumun 4.505 Mg m^{-3} yoğunlukta 1380 MPa kadar olan dayanımı, tasarımlarda ağırlığın önemli olduğu medikal, dental, uzay ve uçak sanayi alanlarındaki uygulamalarda mükemmel mekanik özellikler sağlar. Titanyum malzemelerinin, yapışkan koruyucu TiO_2 filmi 535 ^{o}C'nin altında ki sıcaklıklarda korozyona karşı mükemmel direnç ve birikinti sağlar. Ancak, yapışkan koruyucu TiO_2 filmi 535 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kırılır ve karbon, oksijen, azot ve hidrojen gibi küçük atomlar titanyumu kırılganlaştırır [Askeland, 1998]. Ayrıca ısının yükseldiği ve oksijence zengin bir ortamda titanyum talaşlarının kolayca tutuşabileceği ve iş parçasının neredeyse tüm takım malzemeleri ile reaksiyona girerek kimyasal tabanlı aşınmalara yol aşabileceği söylenebilir [Çakır ve Ensarioğlu, 2005].

Titanyum düşük sıcaklıklarda Hegzagonal sıkı paket (HSP) yapılı α ve 822 ^{o}C üzerinde Hacim merkezli kübik (HMK) yapılı β allotropik bir metaldir [Ezugwu et al, 2002]. Alaşım elementleri katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve allotropik dönüşüm sıcaklığı değişir. Alaşım elementleri titanyum - kalay, titanyum -

alüminyum, titanyum-mangan ve titanyum-molibden olarak dört gruba ayrılabilir[Ezugwu et al, 2002. Askeland, 1998].

Kalay gibi ilaveler, dönüşüm sıcaklığını etkilemeksizin katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar. Alüminyum, oksijen, hidrojen ve diğer alfa dengeleyici (kararlaştırıcı) elementler α'dan β'ya dönüştüğü sıcaklığı yükseltir. Vanadyum, tantalyum, molibden ve niobyum gibi β dengeleyici elementler, dönüşüm sıcaklığını düşürür ve hatta β'nın oda sıcaklığında dengeli kalmasına neden olur. Son olarak mangan, krom ve demir ötektoid reaksiyon sağlar, α - β dönüşüm sıcaklığını düşürür ve oda sıcaklığında iki faz oluşturur. Saf titanyum, büyük oranda kullanıldığı çevrelerin gözüyle bakılırsa, çok değerli bir malzeme değildir. Tercih edilmesini sağlayan asıl özelliklerini düşük oranlarda eklenen alaşım elemanları ile kazanır [Askeland, 1998]. Titanyum alaşımları için alaşım durumuna göre bir sınıflandırma, aşağıdaki gibi yapılabilir.

1. 9. 4. 1. Ticari Saflıkta Titanyum

Alaşımlandırılmamış titanyumun kullanım nedeni üstün korozyon direncine sahip olmasıdır. Ticari saflıktaki titanyum nispeten zayıftır ve yüksek sıcaklıklarda dayanımını kaybeder. Fakat çok iyi korozyon direncine sahiptir. Bu sınıftaki alaşımlar çok düşük sıcaklık uygulamaları içinde gereklidir. Uygulamaları; ısı eşanjörleri, boru donanımları, reaktörler, pompalar ile kimya ve petrol endüstrileri için valfleri içerir [Ezugwu et al, 2002. Askeland, 1998].

1. 9. 4. 2. Alfa Titanyum Alaşımları

Çok bilinen α alaşımlarının hepsi % 5 Al ve % 2,5 Sn içerir. Bunların her ikisi de α'ya katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını iyi korurken, korozyon ve oksidasyon dirençlerine ek olarak kaynaklanabilirlikleri iyidir. Bu alaşımlar çoğunlukla 400 ve 500 ^{o}C arasındaki işletme sıcaklıklarında kullanılırlar [Ezugwu et al, 2002]. Normal olarak iyi süneklik ve şekillendirilebilirliğe sahiptirlerdir. Alfa alaşımları, β bölgesindeki yüksek

sıcaklıklarda tavlanırlar ve sonra soğutulurlar. Hızlı soğutma, çok ince iğnesel şekilli α tane yapısı sağlar. Fırında soğutma ise daha çok levha şeklinde yapı oluşturur [Bargel and Schulze, 1980. Askeland, 1998].

1. 9. 4. 3. Beta Titanyum Alaşımları

Vanadyum ve molibdenin büyük miktarda ilavesi oda sıcaklığında tamamen bir β yapısı üretmekle beraber β olarak adlandırılan alaşımların hiçbiri gerçekten bu miktarlarda alaşımlanmazlar. Bunu yerine bu alaşımlar β dengeleyicilerle zengindirler. Bu nedenle de hızlı soğutma, hepsi β'dan oluşan dengesiz faz oluşturur. Dayanım katı eriyik mukavemetlenmesinden kaynaklanır. Alaşımları yüksek dayanım sağlamak için yaşlandırılabilir. Yüksek sertlikleri, mukavemetleri, soğuk şekil verilebilirlikleri ve yüksek korozyon dirençleri genel özellikleridir [Ezugwu et al, 2002]. Uygulamaları yüksek dayanımlı bağlama elemanlarını, kirişleri ve uzay uygulamalarında bağlantıları içerir [Bargel and Schulze, 1980. Askeland, 1998].

1. 9. 4. 4. Alfa - Beta Titanyum Alaşımları

α ve β dengeleyicilerin uygun dengesi ile oda sıcaklığında α ve β'nın bir karışımı üretilir. Tavlama, yüksek süneklik, üniform özellikler ve iyi dayanım kombinasyonu oluşturur. Daha fazla alaşımlanmış α - β alaşımları yüksek dayanımlar elde etmek için ısıl işlem görebilir. Alaşıma, β'ya dönüşüm sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta çözündürme uygulanabilir. Daha sonra alaşım dengesiz aşırı doymuş bir katı eriyik β^1 veya titanyum martensit α^1 oluşturmak için hızla soğutulur. Sonra alaşım 500 ^oC'ye yakın sıcaklıklarda yaşlandırılır veya temperlenir. Düşük yoğunluklu bu malzemeler, mukavemet ve korozyona dayanıklılık özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar korurlar. Uçak iskeleti, roketler, jet motorları ve iniş takım dişlileri için parçalar, ısıl işlem görmüş alfa-beta alaşımları için tipik uygulamalardır [Bargel and Schulze, 1980. Askeland, 1998].

1. 9. 4. 5. Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirliği

Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirliğinde takım ömrü ve yüzey kalitesi dikkate alınırsa, titanyum işlenmesi zor malzemeler grubuna girmektedir [Ezugwu et al, 2002]. Titanyum işlendiği zaman, karşımıza kısa takım ömrü ve düşük metal kaldırma oranı gibi ana problemler ortaya çıkmaktadır [Ginting and Nouari, 2005]. İşlenebilirliği, dikkate aldığımız hususlar üzerinde etkili olan ana değişkenler kesici takım, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak değerlendirmek en uygun açıklama yoludur. Aşağıda titanyum alaşımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişkenler üzerindeki etkileri açıklanmıştır.

Titanyum alaşımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kesme takımı üzerindeki etkileri şöyledir; mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda korumaları, yüksek kuvvet ve ısı oluşumuna sebep olmaktadır [Ginting and Nouari, 2005]. İnce talaş kalınlığı ve talaş yüzeyindeki dar temas alanı, kesme kuvvetlerinin çok küçük bir alanda yoğunlaşmasına sebep olmakta ve buna bağlı olarak da gerilmeler çelikle kıyaslandığında 3–4 misli artmaktadır. 883 ^{o}C'de yapının alfadan betaya değişimi, kesme işlemlerinin ısıya duyarlılığını artırmaktadır. Zayıf ısıl iletkenlik, kesme takımının yüksek sertlik gerekliliğini artırmaktadır [Askeland, 1998]. Çünkü ısıl iletkenliğin düşüklüğü nedeniyle kesme sırasında oluşan ısının % 80'i takım üzerinde kalmaktadır. Bunun sonucunda da takımın sertliği aşırı yaşlanmaya bağlı olarak ortalama serliğin altına düşmektedir [Çakır ve Ensarioğlu, 2005]. Kesme sırasındaki periyodik talaş oluşumu ve değişken kuvvetler titreşime ve tırlamaya neden olmakta ve takım ömrü olumsuz yönde etkilemektedir [Ezugwu et al, 2002]. İşleme sırasında takım-talaş ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklar kimyasal reaktiflikliği yüksek olan kesme malzemesi titanyum alaşımları ile takım malzemesi arasındaki kimyasal tepkiyi artırmaktadır, bunun sonucunda kimyasal tabanlı takım aşınmaları meydana gelmekte ve bu da takım ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir [Lacalle et al, 1998].

Titanyumun işlenebilirliğini kısıtlayan en önemli unsurun ısıl tabanlı aşınmalar olması ve sıcaklığı etkileyen en önemli kesme parametresinin kesme hızı olması nedeniyle titanyumun işlenmesinde kesme hızı önemli bir yere sahiptir. Ti-6Al-4V alaşımı, 120 mm/dak kesme hızında işlendiği zaman, takım talaş ara

yüzeyindeki sıcaklık 1400 ^{o}C'ye ulaşmaktadır [Su et al, 2006]. Kesme hızının artması ile sıcaklığın artması;

- Sürekli/testere dişli talaşın oluşmasına neden olur. Bu oluşum sıcaklığı daha da arttırırken tırlamaya da sebep olur [Ginting and Nouari, 2005],
- Kesici takım mukavemetini azaltır,
- İş parçasının yüksek sıcaklıklarda da mukavemetini koruması ve düşük ısıl iletkenlik, yüzey kalitesinin düşmesine neden olur. Çünkü belirli hız değerlerinden sonra oluşan ısı takım üzerinde toplanır ve takımdaki aşınmayı ilerletir [Su et al, 2006],
- İş parçasının yüzeyine yakın bölgelerde mikro-yapının bozulması ve sertliğin artması problemlerini ortaya çıkar [Ginting and Nouari, 2005. Çakır ve Ensarioğlu, 2005].

Genel olarak talaşlı imalatta ilerlemenin tek sınırlayıcısı yüzey kalitesi olsa da titanyum işlenirken ilerleme takım ömrünü daha fazla etkilemektedir. Bunun nedeni titanyum ve alaşımları işlenirken, sıcaklığın tehlikeli seviyelerde olmasıdır. Çünkü bu malzemelerin ısıl iletkenliğinin düşük olması nedeniyle, ilerlemenin karekökü ile doğru orantılı olan takım/talaş kesiti sıcaklığı ilerleme ile artmakta ve oluşan ısı takım üzerinde toplanmaktadır. Bu tür malzemelerin işlenmesinde takım üzerinde oluşan aşınmanın ısıl tabanlı olması da aşınma mekanizmalarının etkinliğinin arttırmasına neden olmaktadır. Takım / talaş temas alanının çok dar olmasına bağlı olarak ilerlemenin yarattığı küçük kuvvet artışı da sıcaklığın artmasında etkili olmakta ve takım aşınmasını ilerletmektedir [Ezugwu et al, 2002. Çakır ve Ensarioğlu, 2005].

Titanyumun işlenmesinde kesme derinliği kesme hızından sonra en etkili değişken olarak göze çarpmaktadır. Kesme derinliğinin artması ile birlikte;

- Talaş yükü artarak gerilmeleri arttırmaktadır. Artan talaş yükü ile artan sürtünme kuvvetinin sonucunda ısı artmakta ve bu ısının uzaklaşmasının da zorlaşması ile artan sıcaklık takım ömrü üzerinde daha etkili olmaktadır,

- Titanyumun işlenmesinde takım ömrünü etkileyen en önemli değişken olan sıcaklık kesme derinliğindeki artışla çok yüksek değerlere çıkmaktadır [Lacalle et al, 1998],

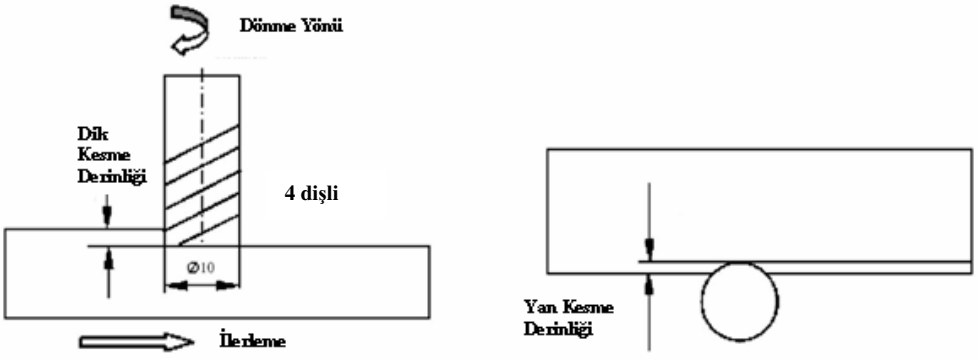
- Yan kesme derinliğinin artışı, talaş kalınlığının artmasına ve buna bağlı olarakta takımın kesme kenarının sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır [Lacalle et al, 1998].

BÖLÜM 2

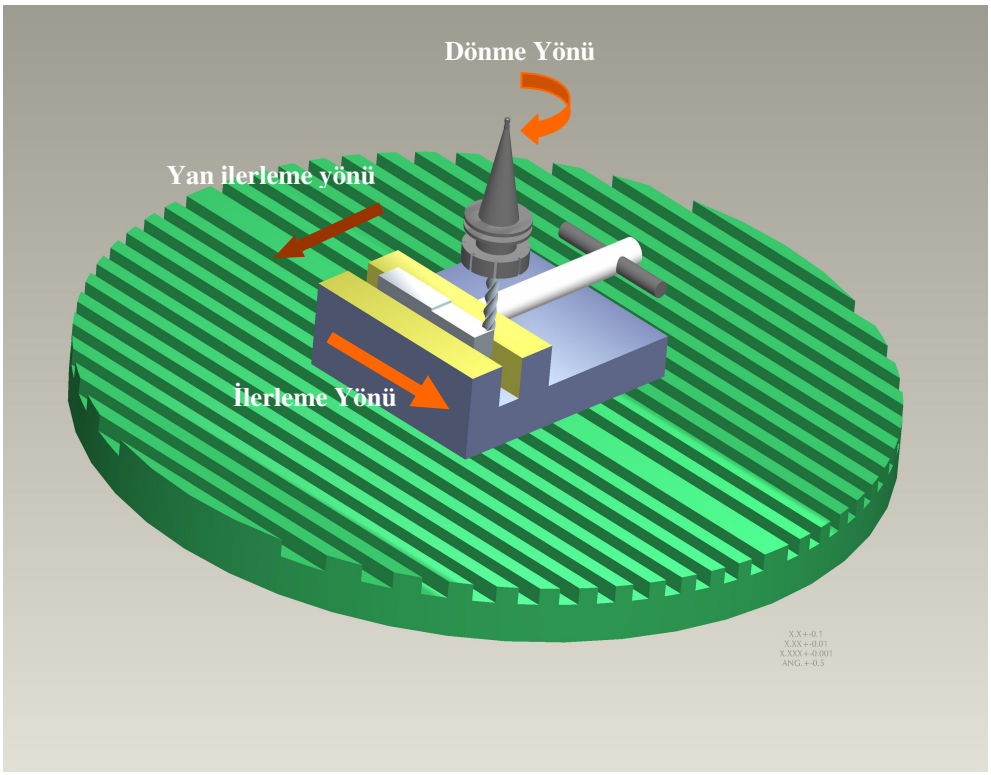
2. 1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınması Deneyleri

Titanyum ve Inconel 718 malzemelerinin talaşlı imalatı esnasında, kesme parametrelerine bağlı olarak takımda meydana gelebilecek aşınmaları ve işleme sonucunda iş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek amacıyla araştırmamızda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemini gerçekleştirmek için kullandığımız kesme takımı ve malzeme cinsine göre, kesme parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak da beş farklı deney tasarımı oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda Titanyum ve Inconel 718 malzemelerinin işlenmesini gerçekleştirmek için iki farklı takım kullanılmış ve kesme işlemi, aynı yönlü işleme tekniğiyle (Şekil 2.1.), kuru şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımlarındaki deneyler tamamlandıktan sonra Inconel 718 ve Titanyum iş parçalarında oluşan geometri Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.'de gösterilmektedir.

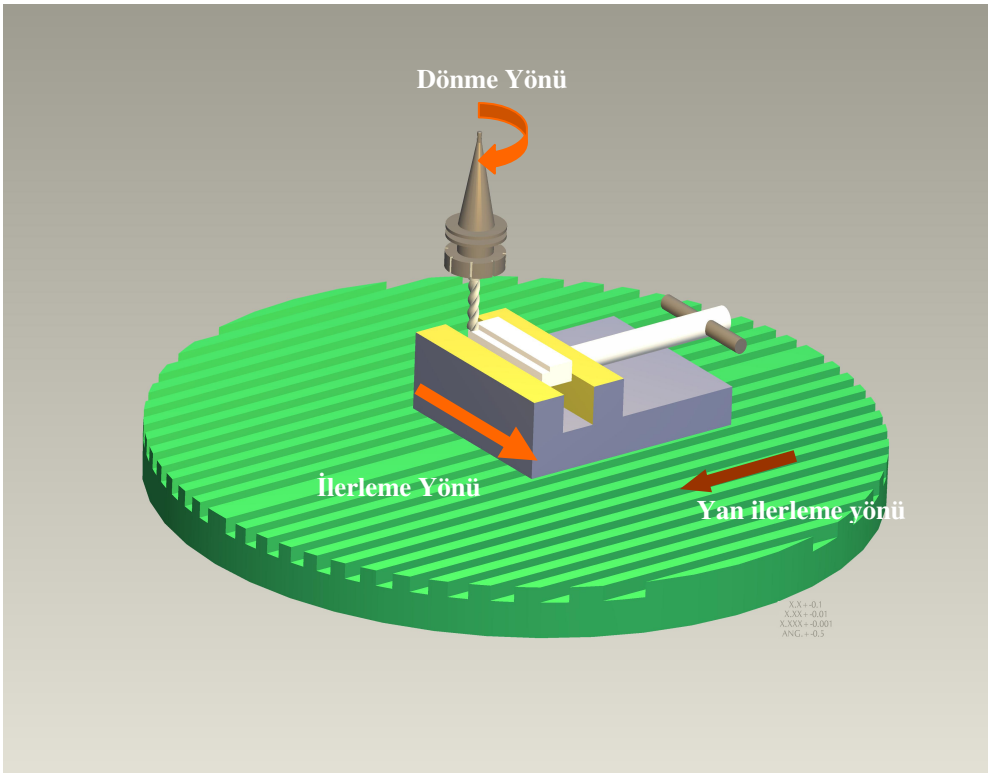
Kesici takımlar, iş parçası özellikleri, kesme parametreleri ve deney tasarımlarıyla ilgili bilgiler diğer başlıklarda, deney düzeneklerinde kullanılan teçhizatla ilgili açıklamalar ise alt başlıklarda açıklanmıştır.



Şekil 2.1. Kesme işlemi için işleme tekniği.



Şekil 2.2. Deneyler tamamlandıktan sonra Inconel 718 iş parçasında oluşan geometri.



Şekil 2.3. Deneyler tamamlandıktan sonra titanyum iş parçasında oluşan geometri.

2. 1. 1. Takım Tezgâhı

Kesme deneyleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği CAD / CAM laboratuarında bulunan DECKEL MAHO DMU 60 P beş eksen CNC işleme merkezi ile gerçekleştirilmiştir. Takım tezgâhına ait teknik özellikler aşağıda belirtilmiştir.

Teknik Özellikler

- Çalışma Sahası

X Ekseni	600 mm
Y Ekseni	700 mm
Z Ekseni	550 mm

- Parça Bağlama Tertibatları

NC Eğimli döner tabla	
Bağlama yüzeyi	Ø 360 mm
Dönüş Aralığı	360 derece
Eğilme Aralığı (iş miline doğru)	-45 / 30 derece
Taşıma Kapasitesi	500 kg

- Ana Tahrik

Tahrik Türü	Devir ayarlı, entegre iş mili dijital kumandalı AC servo motor
Tahrik Gücü (%40 çalışma süresinde)	15 kW
Tahrik Gücü (%40 çalışma süresinde)	10 kW
Devir Sayısı (Standart)	20 – 12000 dev/dak
Devir Sayısı (istek üzerine)	20 – 8000 dev/dak
İş mili yataklama çapı (önde)	80 mm
Takım tutucu	ISO 40 DIN 6987
Çektirme pimi	DIN 69872 – B
Çektirme kuvveti	11 kN

- İlerleme Tahrikleri

Tahrik Türü	Fırçasız, dijital kumandalı AC servo motorlar
İlerleme hızı	1- 10000 mm/dak
Hızlı Hareket	24 m/dak
İlerletme kuvveti	10 /10 /10 kN

- VDI/DGO 3441'e göre hassasiyet değerleri

P max	(X/Y/Z)	8µm
P smax	(X/Y/Z)	5µm
P max	(C ekseni)	9 ws
P smax	(C ekseni)	5 ws
P max	(A ekseni)	9 ws
P smax	(A ekseni)	5 ws
Ø 150 mm de dairesellik		16 µm

- CNC Kumanda

Standart DECKEL MAHO Millplus



Resim 2.1. Deneysel çalışmada kullanılan takım tezgâhı.

2. 1. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti

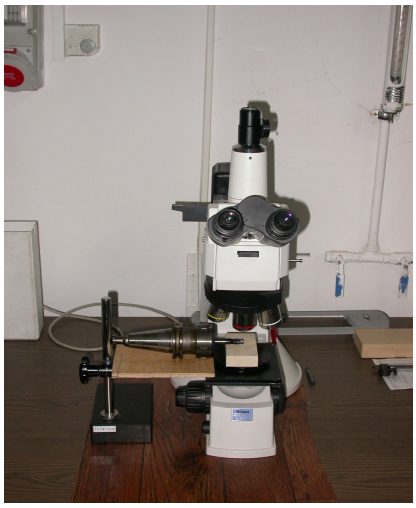
Araştırmada, gerçekleştirilen deneyler sonucunda ortaya çıkan işlenmiş yüzeylerin ölçümü, Mitutoya SJ 301 tipi portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada ki yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde kullanılan cihaza ait teknik özellikler aşağıda Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yüzey pürüzlülüğü cihazına ait teknik özellikler.

Ölçme prensibi	Stylus metodu
İzleyici uç yarıçapı	5µm
Ölçme kuvveti	4 mN (0,4 gf)
Standart	ISO 1997
Filtre	Gauss
Tarama hızı	0,5 mm/s
Kesme uzunluğu (λ_c)	0,8 mm
Değerlendirme uzunluğu ($l_n = \lambda_c * 5$)	4 mm

2. 1. 3. Optik Mikroskop

Çalışmamızda gerçekleştirdiğimiz deneylerden sonra, takımda meydana gelen aşınmaları belirlemek için NIKON - Eclipse L150A tipi optik mikroskop kullanılmıştır (Resim 2. 2.). Mikroskop en büyük 100 × büyütme özelliğine sahiptir.



Resim 2.2. Takım aşınmasının tespitinde kullanılan optik mikroskop.

2. 2. Kesici Takımlar

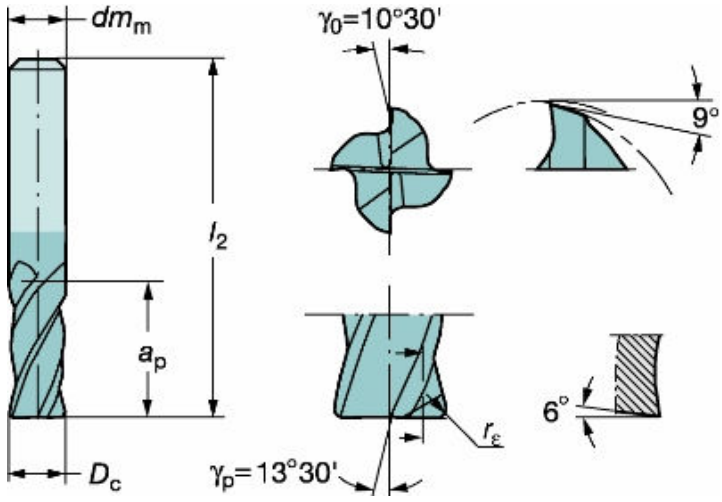
Aşağıdaki bölümlerde deneysel çalışmada Inconel 718 ve Titanyum iş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımların özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2. 2. 1. Takım–1

Çalışmada kullanılan, Sandvik Coromant firmasına ait ticari ismiyle coromill pluro yekpare karbür parmak freze takımı (R216.T4-10030CAS14N GC1620) kalıp üretme, havacılık ve uzay endüstrisi veya genel frezelemede mümkün olan en yüksek verimliliği sağlamak üzere yüksek hız işleme uygulamaları için geliştirilmiştir. Takımın kalitesi özellikle kuru işlemelerde, aşınma direnci gerektiren, zorlu yarı ince ve ince işlemeler için uygundur. Bu takımla ISO-P, M, K, N, S, H sınıflarında sertliği 48 HRc'nin altındaki malzemeler işlenebilir.

Kesme takımının dört kesme kenarından ikisi radyal ve eksenel yönlerde keserken geri kalan ikisi temel olarak radyal yönde keser. Kesme takımında iki silici kenar vardır [Sandvik Coromant, 2003].

Araştırmada kullanılan ve Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.'de şekilleri verilen yekpare karbür parmak frezeye ait fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.4. Kesici takım, takım – 1'in geometrisi.

Yekpare Karbür Parmak Freze

Dönme yönü: Sağ

Kesici kenar sayısı (z_n): 4 adet

Freze çapı (D_c) : 10 mm

Takım uzunluğu (l_2) : 66 mm

Helis açısı: ~30^o

Köşe radyüsü (r_ε): 1mm

Sap tipi: silindirik

Sap uzunluğu: kısa

Maksimum talaş derinliği (a_p): 14mm

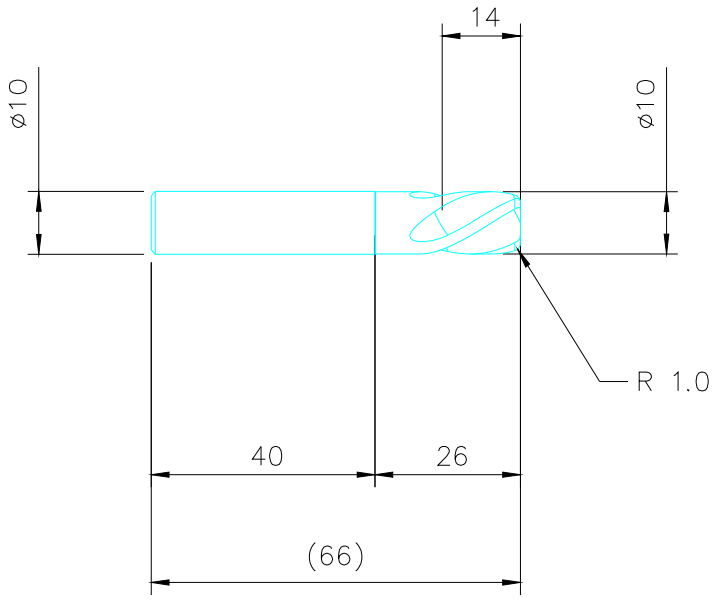
Kesme kenarı: düz

Kesme açısı (γ_o): 10^o 30^1

Helis redüksiyon açısı (γ_p): 13^o 30^1

Silici uç kesme genişliği (b_s): 4 mm

Sandvik kalitesi GC 1620 (GC= Kaplı karbür/sermet (ISO-HC)) 3 mikron kalınlığında TiAlN PVD kaplamayı ifade etmekte ve özellikle kuru işlemelerde, aşınma direnci gerektiren zorlu yarı ince ve ince işlemelerde seçilmek için üretilmiştir [Sandvik Coromant, 2003].

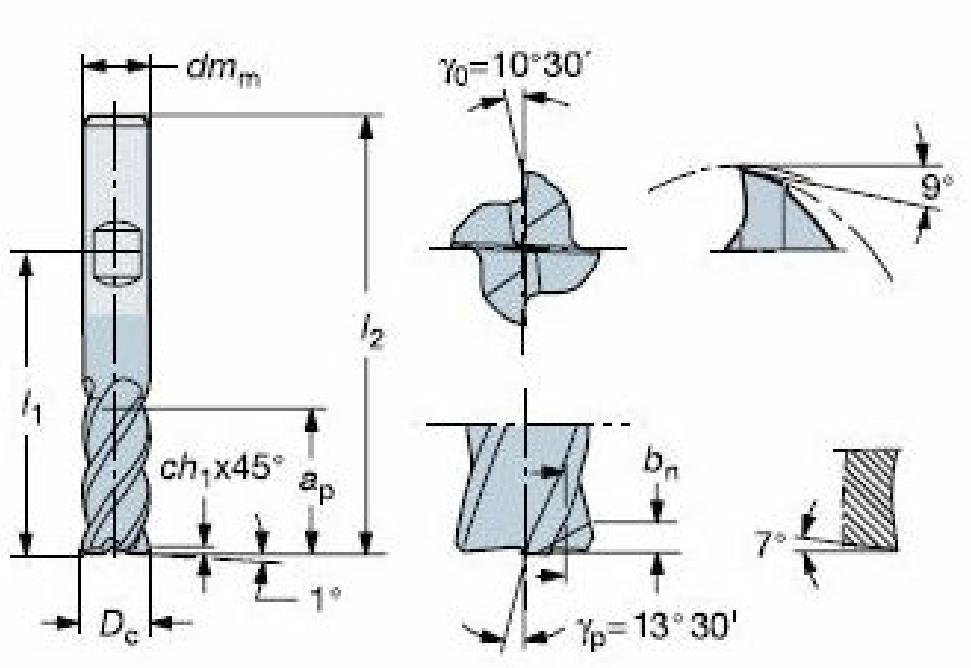


Şekil 2. 5., Kesici takım, takım–1'in teknik resmi.

2. 2. 2. Takım–2

Çalışmada kullanılan, Sandvik Coromant firmasına ait ticari ismiyle coromill pluro yekpare karbür parmak freze takımı (**R216.34–10045-AC22N GC1620**) kalıp üretme, havacılık ve uzay endüstrisi veya genel frezelemede mümkün olan en yüksek verimliliği sağlamak üzere yüksek hız işleme uygulamaları için geliştirilmiştir. Takımın kalitesi özellikle kuru işlemelerde, aşınma direnci gerektiren zorlu yarı ince ve ince işlemeler için uygundur. Bu takım ile ISO-P, M, K, N, S, H sınıflarında sertliği 48 HRc'nin altındaki malzemeler işlenebilir.

Araştırmada kullanılan ve Şekil 2.6. ve Şekil 2.7.'de şekilleri verilen yekpare karbür parmak frezeye ait fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.6. Kesici takım, takım–2'nin geometrisi.

Yekpare Karbür Parmak Freze

Dönme yönü: Sağ

Kesici kenar sayısı (z_n): 4 adet

Freze çapı (D_c) : 10 mm

Takım uzunluğu (l_2) : 72 mm

Helis açısı: ~45^o

Köşe radyüsü (r_ε): radyüzsüz

Sap tipi: silindirik

Sap uzunluğu: uzun

Maksimum talaş derinliği (a_p): 22mm

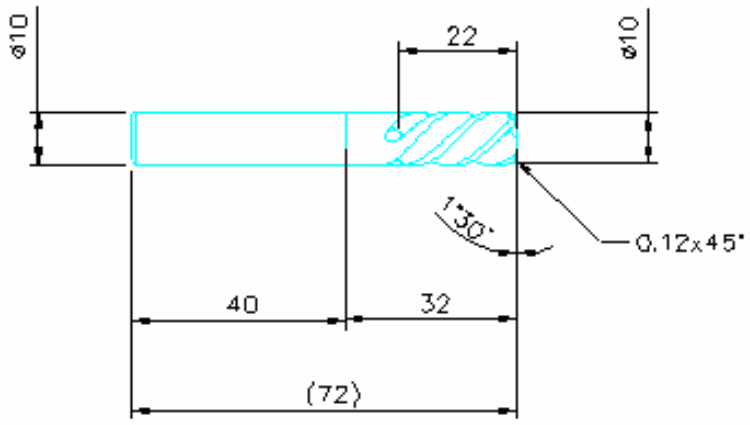
Kesme kenarı: düz

Kesme açısı (γ_o): 10^o 30^1

Helis redüksiyon açısı (γ_p): 13^o 30^1

Silici uç kesme genişliği (b_n): 0,25 mm

Sandvik kalitesi GC 1620 (GC= Kaplı karbür/sermet (ISO-HC)) 3 mikron kalınlığında TiAlN PVD kaplamayı ifade etmekte ve özellikle kuru işlemelerde, aşınma direnci gerektiren zorlu yarı ince ve ince işlemelerde seçilmek için üretilmiştir [Sandvik Coromant, 2003].



Şekil 2.7. Kesici takım, takım–2'nin teknik resmi.

2. 3. İş Parçası

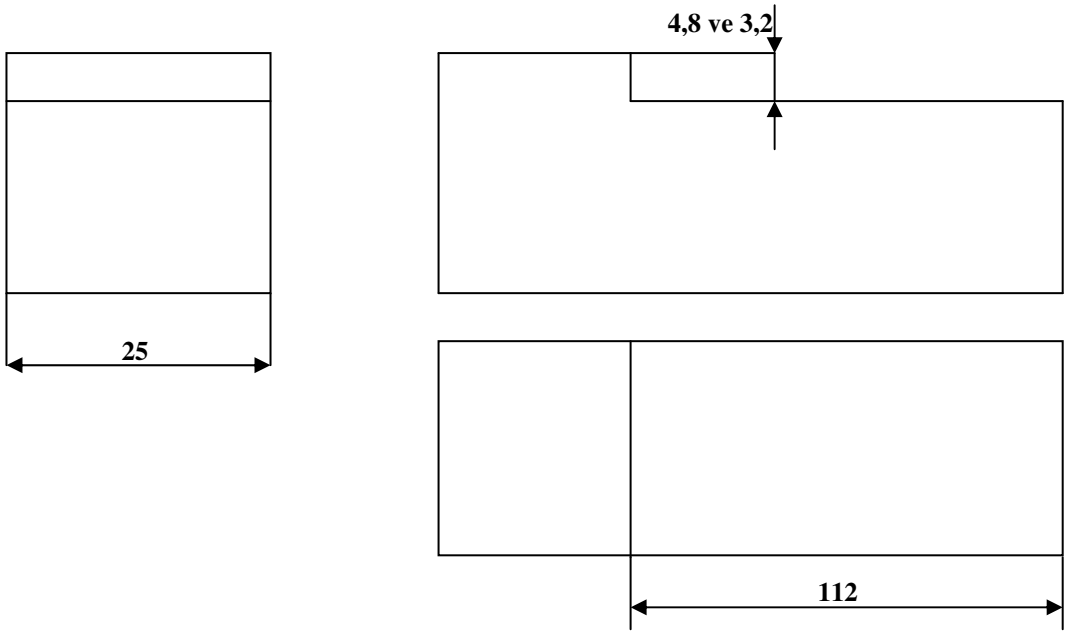
2. 3. 1. Inconel 718

Deneysel çalışmada kullanılan 43 HRc sertliğe sahip nikel esaslı süper alaşım Inconel 718'e ait, spektrometre cihazı ile belirlenmiş malzeme kimyasal bileşim değerleri Tablo 2.2.'de verilmektedir.

İş parçasından işlenen yüzeyin boyutları ve toplam kesme derinliği Şekil 2. 7.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Inconel 718'in kimyasal bileşimi.

Element	%	Element	%	Element	%
C	0,0298	Mo	4,40	Ti	1,30
Si	0,0857	Ni	51,89	V	0,0470
Mn	0,152	Al	0,455	W	0,0305
P	<0,00100	Co	0,0388	Sn	<0,00300
S	<0,00100	Cu	0,0263	Mg	0,0162
Cr	20,81	Nb	>3,00	Fe	<17,71



Şekil 2.7., İş parçasından işlenen yüzeyin boyutları ve toplam kesme derinliği.

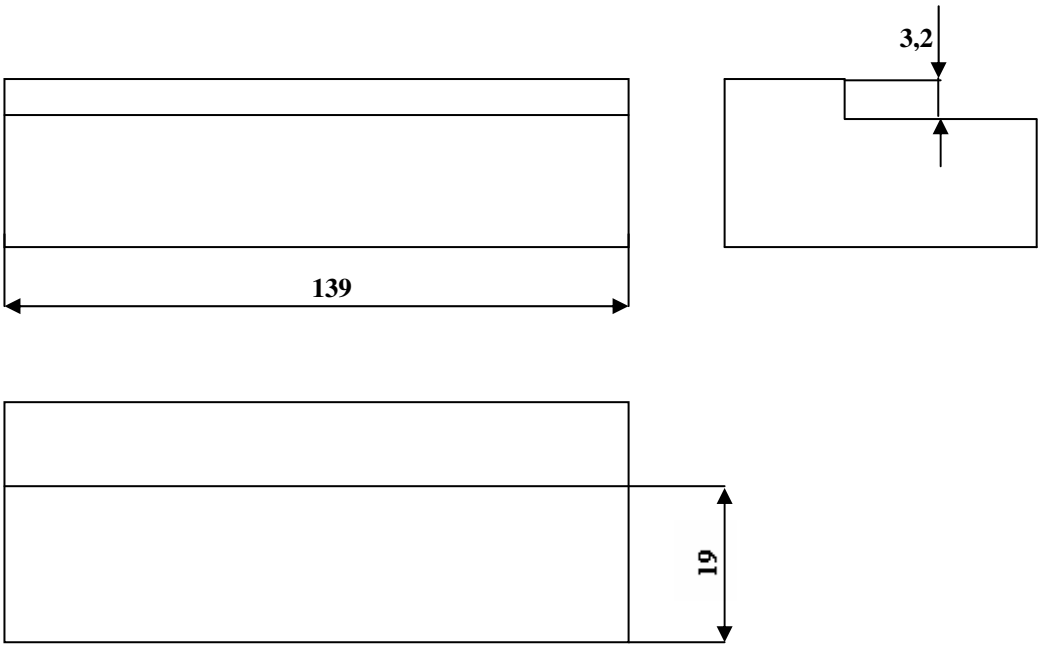
2. 3. 2. Titanyum

Deneysel çalışmada kullanılan 35 HRc sertliğe sahip Titanyum alaşımına ait, SEM cihazı ile belirlenmiş malzeme kimyasal bileşim değerleri Tablo 2.3.'de verilmektedir.

İş parçasından işlenen yüzeyin boyutları ve toplam kesme derinliği Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Titanyumun kimyasal bileşimi.

Element	%	Element	%	Element	%
C	-	Mo	-	Ti	81,47
Si	-	Ni	-	V	3,69
Mn	-	Al	4,37	Zn	2,44
P	-	Co	-	Sn	-
S	-	Cu	8,04	Mg	-
Cr	-	Nb	-	Fe	-



Şekil 2.8., İş parçasından işlenen yüzeyin boyutları ve toplam kesme derinliği.

2. 4. Kesme Parametreleri

2. 4. 1. Inconel 718 için Kesme Parametreleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan iş parçası Inconel 718'in işlenmesinde uygulanan kesme parametreleri, işleme sırasında kullanılan kesici takımın özelliklerine ve literatür taraması sonucunda bilimsel çalışmalarda kullanılan değerlere göre belirlenmiştir. Belirlenen kesme parametreleri kullanılan kesici takıma göre aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

2. 4. 1. 1. Takım–1 in Kullanıldığı Deney Tasarımında

Yekpare karbür parmak freze için Sandvik Coromant takım kataloğunda ISO-S sınıfında "ısıl dirençli süper alaşımlar-nikel esaslı- yaşlandırılmış veya solüsyonla işlenmiş ve yaşlandırılmış" malzeme için Tablo 2.6.'daki diş başına ilerleme (f_z) ve kesme hızı (V_c) değerleri; işleme tipine, kesme derinliğine (a_p), işleme genişliğine (a_e) ve takım çapına (D_c) göre verilmiştir. Bu eşleştirme de malzeme tipi ticari isim olarak INCONEL 718'e karşılık gelmektedir.

Tablo 2.6.'daki değer aralıkları ve literatür taraması sonucunda bilimsel çalışmalarda kullanılan değerler dikkate alınarak seçilen kesme parametreleri bu çalışmada kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri aşağıda Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4., Inconel 718'in işlenmesinde, takım–1' in kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri.

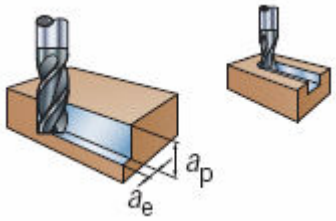
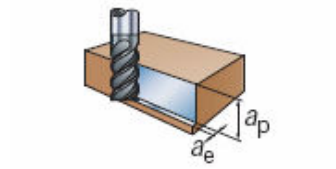
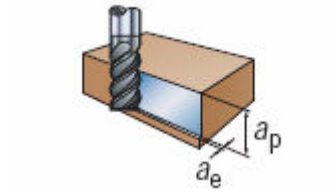
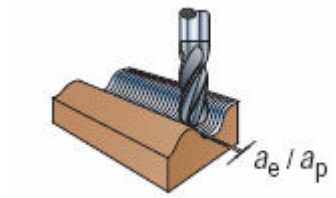
	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**	
A	Yan kesme derinliği	mm	0.5	1.5
B	Dik kesme derinliği	mm	0.4	0.8
C	Kesme hızı	m/dak	40	60
D	İlerleme	mm/diş	0.04	0.12

Kesme hızının ve ilerlemenin birim dönüşümleri çalışmada kullanılan tezgâhın kontrol sisteminin kullandığı birim sistemine uygun olarak yapılmış ve Tablo 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.5., Inconel 718'in işlenmesinde, takım-1 için kesme hızının dev/dak ve ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri.

	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**			
C	Kesme hızı	dev/dak	1273		1910	
		dev/dak	1273	1910	1273	1910
D	İlerleme	mm/dak	204	306	611	917

Tablo 2.6., Inconel 718'in işlenmesinde, kesici takım 1 için önerilen ilerleme ve kesme hızları.

	$a_p \times a_e > D_c$ için V_c= 25 m/dak, f_z= 0.027 mm/diş
	$a_p \times a_e < D_c$ için V_c= 35 m/dak, f_z= 0.055 mm/diş
	$a_e \leq \mathbf{0.05} \times D_c$ için V_c= 60 m/dak, f_z= 0.071 mm/diş
	$a_e \leq \mathbf{0.05} \times D_c$ $a_p \leq \mathbf{0,05} \times D_c$ için V_c= 115 m/dak, f_z= 0.127 mm/diş

2. 4. 1. 2. Takım–2 nin Kullanıldığı Deney Tasarımında

Yekpare karbür parmak freze için Sandvik Coromant takım kataloğunda ISO-S sınıfında "ısıl dirençli süper alaşımlar-nikel esaslı- yaşlandırılmış veya solüsyonla işlenmiş ve yaşlandırılmış" malzeme için Tablo 2. 9.'daki diş başına ilerleme (f_z) ve kesme hızı (V_c) değerleri; işleme tipine, kesme derinliğine (a_p), işleme genişliğine (a_e) ve takım çapına (D_c) göre verilmiştir. Bu eşleştirme de malzeme tipi ticari isim olarak INCONEL 718'e karşılık gelmektedir.

Tablo 2.9.'daki değer aralıkları ve literatür taraması sonucunda bilimsel çalışmalarda kullanılan değerler dikkate alınarak, seçilen kesme parametreleri bu çalışmada kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri Tablo 2.7.'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–2' nin kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri.

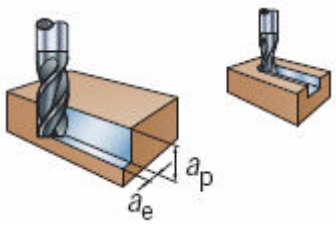
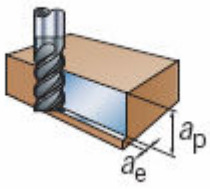
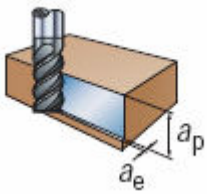
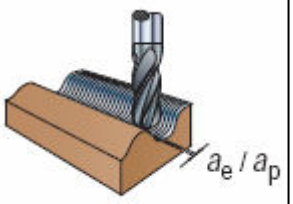
	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**	
A	Yan kesme derinliği	mm	0.3	0.6
B	Dik kesme derinliği	mm	0.3	0.5
C	Kesme hızı	m/dak	40	60
D	İlerleme	mm/diş	0.04	0.12

Kesme hızının ve ilerlemenin birim dönüşümleri deneysel çalışmada kullanılan tezgâhın kontrol sisteminin kullandığı birim sistemine uygun olarak yapılmış ve Tablo 2. 8.'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–2 için kesme hızının dev/dak, ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri.

	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**			
C	Kesme hızı	dev/dak	1273		1910	
		dev/dak	1273	1910	1273	1910
D	İlerleme	mm/dak	204	306	611	917

Tablo 2.9. Inconel 718'in işlenmesinde, kesici takım-2 için önerilen ilerleme ve kesme hızları.

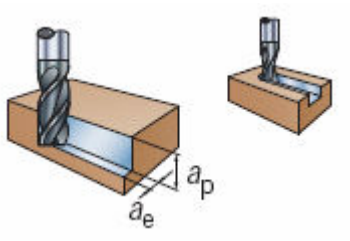
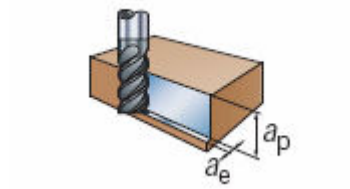
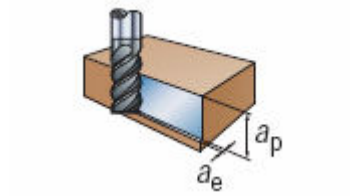
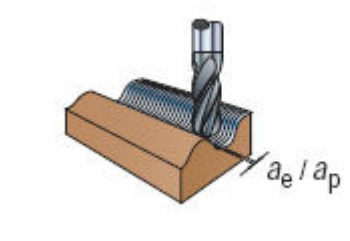
	$a_p \times a_e > D_c$ için V_c= 25 m/dak, f_z= 0.027 mm/diş
	$a_p \times a_e < D_c$ için V_c= 35 m/dak, f_z= 0.055 mm/diş
	$a_e \leq 0.05 \times D_c$ için V_c= 60 m/dak, f_z= 0.071 mm/diş
	$a_e \leq 0.05 \times D_c$ $a_p \leq 0{,}05 \times D_c$ için V_c= 115 m/dak, f_z= 0.127 mm/diş

2. 4. 2. Titanyum için Kesme Parametreleri

2. 4. 2. 1. Takım–1 ve Takım–2 nin Kullanıldığı Deney Tasarımlarında

Yekpare karbür parmak freze için Sandvik Coromant takım kataloğunda ISO-S sınıfında titanyum alaşımı (α+β alloys in aged cond. β alloys, annealed or aged) için Tablo 2.10.'daki diş başına ilerleme (f_z) ve kesme hızı (V_c) değerleri; işleme tipine, kesme derinliğine (a_p), işleme genişliğine (a_e) ve takım çapına (D_c)göre verilmiştir.

Tablo 2.10. Titanyumun işlenmesinde, kesici takım 1 ve 2 için önerilen ilerleme ve kesme hızları.

	$a_p \times a_e > D_c$	için V_c= 45 m/dak, f_z= 0.027 mm/diş
	$a_p \times a_e < D_c$	için V_c= 60 m/dak, f_z= 0.055 mm/diş
	$a_e \leq \mathbf{0.05} \times D_c$	için V_c= 115 m/dak, f_z= 0.071 mm/diş
	$a_e \leq \mathbf{0.05} \times D_c$ $a_p \leq \mathbf{0,05} \times D_c$	için V_c= 215 m/dak, f_z= 0.127 mm/diş

Tablo 2.10.'daki değer aralıkları ve literatür taraması sonucunda bilimsel çalışmalarda kullanılan değerler dikkate alınarak, seçilen kesme parametreleri bu çalışmada kullanılmıştır. Bu kesme parametreleri Tablo 2.11.'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Titanyumun işlenmesinde, takım–1 ve 2' nin kullanıldığı deneyler için seçilen kesme parametreleri.

	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**	
A	Yan kesme derinliği	mm	0.3	0.6
B	Dik kesme derinliği	mm	0.3	0.5
C	Kesme hızı	m/dak	80	120
D	İlerleme	mm/diş	0,04	0.12

Kesme hızının ve ilerlemenin birim dönüşümleri deneysel çalışmada kullanılan tezgâhın kontrol sisteminin kullandığı birim sistemine uygun olarak yapılmış ve Tablo 2.12.'de verilmiştir.

Tablo 2.12. Inconel 718'in işlenmesinde, takım–1 ve 2 için kesme hızının dev/dak ve ilerlemenin mm/dak biriminden değerleri.

	Kesme Parametreleri	**Birim**	**Değerler**			
C	Kesme hızı	dev/dak	2546		3820	
		dev/dak	2546	3820	2546	3820
D	İlerleme	mm/dak	407	611	1222	1833

2. 5. Deney Tasarımları

Frezeleme deneyleri için dört faktör, iki bölüm ve 8 deneyden oluşan (A 2^{4-1} fractional factorial design) Tablo 2.13'de gösterilen deney matrisi oluşturulmuştur. Matrislerdeki 1 ve 2 değerleri faktörlerin en düşük ve en yüksek bölümlerini ifade etmektedir.

Oluşturulan deney matrisi, beş farklı deney tasarımında da kullanılmıştır. Önceden deneylerde kullanılmak üzere kesici takım ve malzemeye göre belirlenmiş kesme parametrelerinin en düşük ve en yüksek bölümleri, ilgili deney tasarımındaki matrise yerleştirilmiş durumda aşağıda ki Tablo 2.14, Tablo 2.15, Tablo 2.16, Tablo 2.17 ve Tablo 2.18'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Deneyler için oluşturulan deney matrisi.

	A	**B**	**C**	**D**
Deney No 1	2	1	1	2
Deney No 2	2	1	2	1
Deney No 3	2	2	1	2
Deney No 4	1	2	2	2
Deney No 5	2	2	1	1
Deney No 6	1	1	2	2
Deney No 7	1	2	1	1
Deney No 8	1	1	2	1

2. 5. 1. Deney Tasarımı 1

Deney tasarımı 1 ile gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak Inconel 718 malzemesi, kesici takım olarak da takım–1 kullanılmıştır. Deney tasarımı Tablo 2.14'de sunulmaktadır.

Tablo 2.14. Deney tasarımı 1 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**
Deney No 1	1.5	0.4	40	0.12
Deney No 2	1.5	0.4	60	0.04
Deney No 3	1.5	0.8	40	0.04
Deney No 4	0.5	0.8	60	0.04
Deney No 5	1.5	0.8	60	0.12
Deney No 6	0.5	0.4	40	0.04
Deney No 7	0.5	0.8	40	0.12
Deney No 8	0.5	0.4	60	0.12

2. 5. 2. Deney Tasarımı 2

Deney tasarımı 2 ile gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarak da takım–1 kullanılmıştır. Deney tasarımı Tablo 2.15'de sunulmaktadır.

Tablo 2.15. Deney tasarımı 2 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**
Deney No 1	0.6	0.3	80	0.12
Deney No 2	0.6	0.3	120	0.04
Deney No 3	0.6	0.5	80	0.04
Deney No 4	0.3	0.5	120	0.04
Deney No 5	0.6	0.5	120	0.12
Deney No 6	0.3	0.3	80	0.04
Deney No 7	0.3	0.5	80	0.12
Deney No 8	0.3	0.3	120	0.12

2. 5. 3. Deney Tasarımı 3

Deney tasarımı 3 ile gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarak da takım–2 kullanılmıştır. Deney tasarımı Tablo 2.16'da sunulmaktadır.

Tablo 2.16. Deney tasarımı 3 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**
Deney No 1	0.6	0.3	80	0.12
Deney No 2	0.6	0.3	120	0.04
Deney No 3	0.6	0.5	80	0.04
Deney No 4	0.3	0.5	120	0.04
Deney No 5	0.6	0.5	120	0.12
Deney No 6	0.3	0.3	80	0.04
Deney No 7	0.3	0.5	80	0.12
Deney No 8	0.3	0.3	120	0.12

2. 5. 4. Deney Tasarımı 4

Deney tasarımı 4 ile gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak Inconel 718 malzemesi, kesici takım olarak da takım–2 kullanılmıştır. Deney tasarımı Tablo 2.17'de sunulmaktadır.

Tablo 2.17. Deney tasarımı 4 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**
Deney No 1	0.6	0.3	40	0.12
Deney No 2	0.6	0.3	60	0.04
Deney No 3	0.6	0.5	40	0.04
Deney No 4	0.3	0.5	60	0.04
Deney No 5	0.6	0.5	60	0.12
Deney No 6	0.3	0.3	40	0.04
Deney No 7	0.3	0.5	40	0.12
Deney No 8	0.3	0.3	60	0.12

2. 5. 5. Deney Tasarımı 5

Deney tasarımı 5 ile gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarak da deney tasarımı 2 de kullanılmış olan takım–1 kullanılmıştır. Deney tasarımı Tablo 2. 18'de sunulmaktadır.

Tablo 2.18. Deney tasarımı 5 için kesme parametrelerinin değerlerinin bulunduğu deney matrisi

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**
Deney No 1	0.6	0.3	80	0.12
Deney No 2	0.6	0.3	120	0.04
Deney No 3	0.6	0.5	80	0.04
Deney No 4	0.3	0.5	120	0.04
Deney No 5	0.6	0.5	120	0.12
Deney No 6	0.3	0.3	80	0.04
Deney No 7	0.3	0.5	80	0.12
Deney No 8	0.3	0.3	120	0.12

BÖLÜM 3

3. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Deneyleri Sonuçları ve Analizleri

Deney tasarımlarında gerçekleştirilen her bir deneyden sonra işlenen yüzey kuru hava ile temizlenmiş ve kesme uzunluğu boyunca on farklı noktadan iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir [Ghani et al, 2004]. Her bir deney için ölçümlerle elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri ortalamalar alınmadan önce veri listesinden çıkartılmış ve kalan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Deney tasarımlarında gerçekleştirilen her bir deney için elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve deney tasarımları için gerçekleştirilen istatistiksel analizler ekler bölümünde verilmiştir.

Bu araştırmada gerçekleştirilen deneylerde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkisini belirlemek amaç edinildiğinden dolayı istatistiksel analizlerimiz için gerekli hipotez bu doğrultuda ifade edilmiştir. Hipotezin kabul veya reddini gerçekleştirmek amacıyla deneyler sonunda yüzey pürüzlülüğü değerleri toplanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, eldeki verileri değerlendirmek amacıyla iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilerin ve farklılıkların incelendiği çok değişkenli parametrik testlerden; regrasyon analizi, bağımsız örneklemler için tek faktörlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ve bağımsız örneklemler için iki faktörlü varyans analizi (Two-Way ANOVA) kullanılmıştır. Bu teknikler de belirli değişken(ler)deki değişim (bağımlı değişken), diğer değişkenler (bağımsız değişkenler) yardımıyla açıklanmaya çalışılmaktadır.

Deneyler sonucunda elde edilen verilerin analiz sürecinde, ilk önce parametrik testlerin uygulanabilmesi için gerekli olan şartlara bakılmıştır. Bu şartlar aşağıda sıralanmaktadır.

a. Verinin normal dağılım göstermesi veya normale yakın bir dağılıma sahip olması. Bunu anlamak için bağımlı değişken üzerinde normallik testi uygulanmıştır. Eğer seçilen belirli anlamlık düzeyinde, test sonucunda ortaya çıkan p değeri seçtiğimiz anlamlılık düzeyi α'dan büyük ise verinin normal dağılım sergilediği kabul edilmiştir. Normallik testi sonuçları her bir deney tasarımı için ekler bölümünde verilmiştir.

b. Bütün grupların aynı varyans değerine sahip normal dağılım gösteren evrelerden geçmiş olması. Bu şart ANOVA analizleri için oldukça önemlidir. Levene testi ile varyansların eşitliğine bakılmıştır. Eğer seçilen belirli anlamlık düzeyinde, test sonucunda ortaya çıkan p değeri seçtiğimiz anlamlılık düzeyi α'dan büyük ise varyansların eşitliği kanaatine varılmıştır. Varyansların eşitliği testi sonuçları her bir deney tasarımı için ekler bölümünde verilmiştir.

c. Analiz neticesinde ortaya çıkan hata terimlerinin tesadüfi olması. Hata terimlerinin tesadüfî olması; hata terimlerinin birbirinden bağımsız olması veya herhangi bir düzenli şekle sahip olmaması anlamına gelmektedir. Bu konu regrasyon analizinde son derece önemlidir. Çünkü hata terimlerinin tesadüfî olmaması, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki göreceli etkisini algılamada ciddi yanılmalara sebep olmaktadır. Bu şart tahmin edilen ve ölçülen değerin gösterildiği regrasyon doğrusu grafiği üzerinden değerlendirilmiştir.

Yukarıdaki şartların sağlandığı bu konularla ilgili testler gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Daha sonra değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için regrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Regrasyon analizinde, seçilen anlamlılık düzeyinde, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisine bakılmıştır. Her bir deney tasarımı için gerçekleştirilen regrasyon analizine ait analiz çıktıları ekler bölümünde verilmiştir. Eğer analiz sonucunda bulunan bağımsız değişkelerden herhangi birisiyle ilgili p değeri, belirlenen anlamlılık düzeyini temsil eden α değerinden büyük çıkmış ise bu bağımsız değişken regrasyon denkleminden çıkarılmıştır. Çünkü ortaya çıkan p değerine göre analizlere başlarken belirlediğimiz hipotezimizi reddedemeyiz ve bağımsız değişkenle bağımlı değişken arasında bir

ilişkinin olmadığı sonucu ortaya çıkmış olur. Bu yüzden bu bağımsız değişken regrasyon denkleminden çıkartılarak analize devam edilmiştir.

Regrasyon modelinin anlamlı olup olmadığını incelemek için de ANOVA testi sonuçları dikkate alınmıştır. Test sonucunda ortaya çıkan p değerinin belirlenen anlamlılık düzeyine göre durumu, oluşturulan modelin uygun olup olmadığı kararını vermekte kullanılmıştır. Eğer p değeri belirlenen anlamlılık düzeyi α değerinden küçük ise söz konusu modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağladığı yorumu yapılır. Kurduğumuz hipotez doğrultusunda değişkenler arasındaki ilişki tespit edilerek, uygun regrasyon denklemleri her bir deney tasarımı için oluşturulmuştur.

Bundan sonrada belirli anlamlılık düzeyinde ilişkisini tespit ettiğimiz bağımsız değişkenin veya değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki farklılıklarını tespit etmeye yönelik bağımsız örneklemler için tek faktörlü varyans analizi (One-Way ANOVA) testi kullanılmıştır. Bu çalışmada, bağımsız örneklemler için tek faktörlü varyans analizi; regresyon denklemimde bulunan tek bir bağımsız değişkene ilişkin bölümlerin (level), bağımlı değişkene göre ortalamalarının karşılaştırılarak, ortalamalar arasındaki farkın belirli bir güven aralığında anlamlı olup olmadığını test etmek için kullanılmıştır.

Tek faktörlü varyans analizine ilişkin H_0 hipotezi, bölümler arasında belirli bir anlamlılık düzeyinde önemli bir fark yoktur şeklinde kurulmuştur. Buna bağlı olarak da alternatif hipotezimiz H_1 ise bölümler arasında belirli bir anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık vardır şeklinde oluşturulmuştur.

Test sonucunda H_0 hipotezi red edilirse bölümler arasında farklılık olduğu saptanır. Ancak söz konusu farklılığın hangi bölümlerden kaynaklandığı saptanamaz. Farklılığın hangi bölümlerden kaynaklandığını test etmek için de çoklu karşılaştırma yapılması gereklidir. Bu çalışmada çoklu karşılaştırma için Tukey testi kullanılmıştır.

Deney tasarımlarından, deney tasarımı 1, 2 ve 3'de belirli anlamlılık düzeyinde sadece bir bağımsız değişkeninin bağımlı değişkenle ilişkisi tespit edilmiştir. Bu bağlamda, deney tasarımlarında bağımlı değişken ile ilişkisi tespit edilen bağımsız değişkenlerin bölümlerinin hangisinin bağımlı değişken üzerinde daha fazla farklılığa sebep olduğunu tespit etmek amacıyla deney tasarımı 1, 2 ve 3 için tek faktörlü varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Bunlarla ilgili analiz çıktıları Ek 1, 2 ve 3'de sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, deney tasarımlarından üçünde, belirli anlamlılık düzeyinde, sadece bir bağımsız değişkeninin bağımlı değişkenle ilişkisi tespit edilmiştir. Diğer iki deney tasarımında ise ekler bölümündeki regrasyon analizi sonuçları da incelendiğinde görüleceği üzere bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında, belirli anlamlılık düzeyinde bir ilişki tespit edilememiştir. Bu sonuçların neticesinde, bağımlı değişkenle, bağımsız değişkenler arasındaki farklılıkları tespit etmeye yönelik olan bağımsız örneklemler için iki faktörlü varyans analizi (Two-Way ANOVA) testleri gerçekleştirilememiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, deney tasarımlarının tümü için belirlenen ortak hipotez, yapılan analizler neticesinde deney tasarımlarına göre kabul veya reddedilmiştir. Analizler sonucunda hipotezin reddedilmesi de kabul edilmesiyle aynı öneme sahip bir sonuçtur. Çünkü araştırmacılar, çalışmalarını hipotezlerini doğrulamak için yapmazlar. Elde edilen verilerin analizi neticesinde, hipotezimize ters olarak ortaya çıkan sonuçta yorumlanması gereken bir durumdur. Çünkü ileride yapılacak çalışmalar için kararlar almak ve tahminlerde bulunmak için gerekli bilgileri bu yorumlar vasıtasıyla elde ederiz.

Bu bakımdan, bir hipotezin doğrulanması ile reddedilmesi aynı özene sahip sonuçlardır. Bundan dolayı bu çalışmada, sonuçların analizinde gerekli özen gösterilmiştir.

3. 1. 1. Deney Tasarımı 1 için Sonuçlar ve Analizler

Bu bölümde; deney tasarımı 1 ile gerçekleştirilen deneylerde, iş parçası olarak Inconel 718 malzemesi, kesici takım olarakta takım–1 kullanılması sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sonuçları, çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analizler; normallik testi, varyansların eşitliği testi ve regrasyon analizine ait analiz çıktıları Ek 1'de verilmiştir.

3. 1. 1. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Deney tasarımı 1'deki deneylerin gerçekleştirilmesi sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deneyde kullanılan kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney tasarımı 1 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**	**R_a**
Deney No 1	1.5	0.4	40	0.12	0,280
Deney No 2	1.5	0.4	60	0.04	0,153
Deney No 3	1.5	0.8	40	0.04	0,385
Deney No 4	0.5	0.8	60	0.04	0,452
Deney No 5	1.5	0.8	60	0.12	0,230
Deney No 6	0.5	0.4	40	0.04	0,350
Deney No 7	0.5	0.8	40	0.12	0,404
Deney No 8	0.5	0.4	60	0.12	0,482

3. 1. 1. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu

Inconel 718 malzemesinin önceki bölümde özellikleri verilen takım–1 ile işlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme, dik kesme derinliği ve yan kesme derinliğine göre elde edilen ortalama

yüzey pürüzlülüğü (R_a) deney sonuçları Tablo 3. 1.'de görülmektedir. Planlanan deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin, istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiş ve Ek 1'de verilmiştir. Bu analizlerde, izlenen yöntem hakkında bölüm başlangıcında gerekli bilgiler verilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, belirli anlamlılık düzeyinde, tüm kesme parametreleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında istatistiksel olarak bir ilişki çıkmamıştır. Bu ilişkinin tespiti için gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçlarına Ek 1'den bakıldığında regrasyon modelinin, gerçek açıklama gücü değerini gösteren, adjusted R squared değerinin % 18,3 ve en önemlisi ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan p değerinin 0,409 olduğu görülmektedir. Elde edilen p değeri de α değeri 0,05'den büyük olduğu için modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağlamadığı görülmektedir.

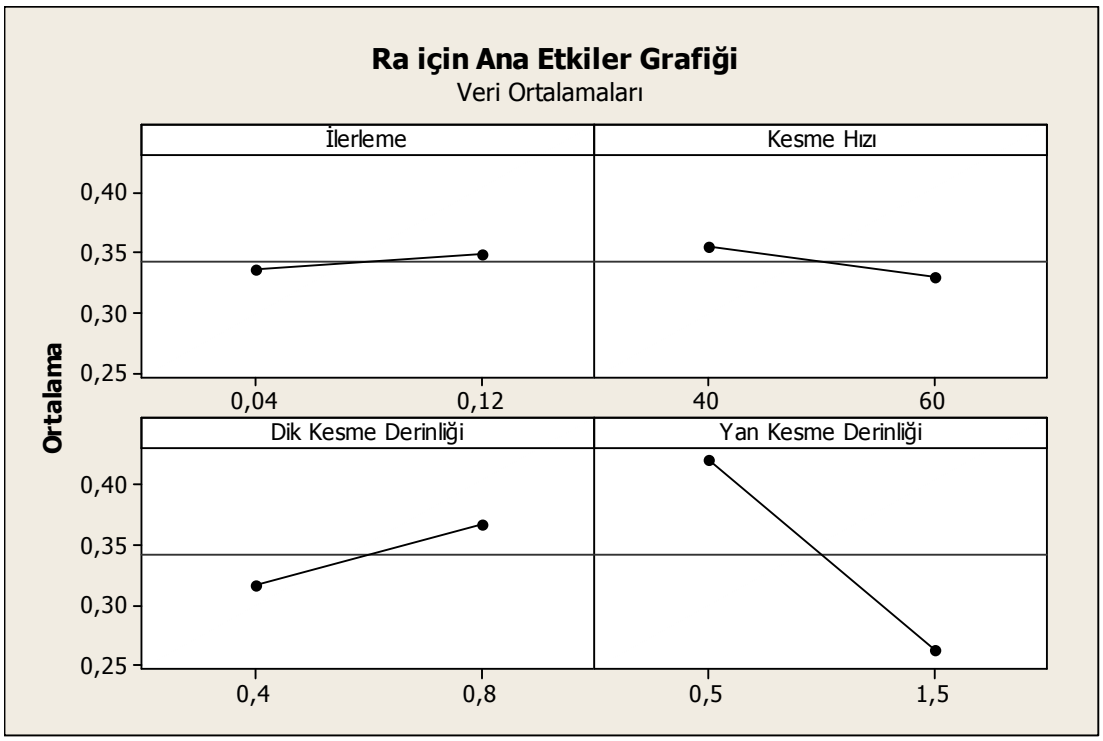
Regrasyon analizine, test sonucunda kesme parametreleri için elde edilen p değerlerine dikkat edilerek devam edilmiştir. Gerçekleştirilen her regrasyon analizi sonrası, en yüksek p değerine sahip kesme parametresi regrasyon modelinden çıkartılarak, analizler gerçekleştirilmiştir. Regrasyon modelinin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağladığı model, tek değişkenli bir regrasyon analiz gerçekleştirilerek tespit edilmiştir. Bu modelde yer alan ve bağımsız değişken olan kesme parametresi ise Ek 1'deki analiz sonuçlarından da görülebilecek, yan kesme derinliğidir.

Yan kesme derinliği, gerçekleştirilen deney tasarımında, elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde istatistiksel olarak tek etkili kesme parametresi olarak görülmektedir. Ancak bu sonuçtan yan kesme derinliği dışında, diğer kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde etkisi olmadığı anlaşılmamalıdır. Diğer kesme parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasından, kesme parametrelerinin bölüm değerlerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır [Vivancos et al, 2005].

Deney çalışması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin oluşmasına etki eden kesme parametreleri arasında meydana gelen ilişkilerin grafikleri Şekil 3. 1'de

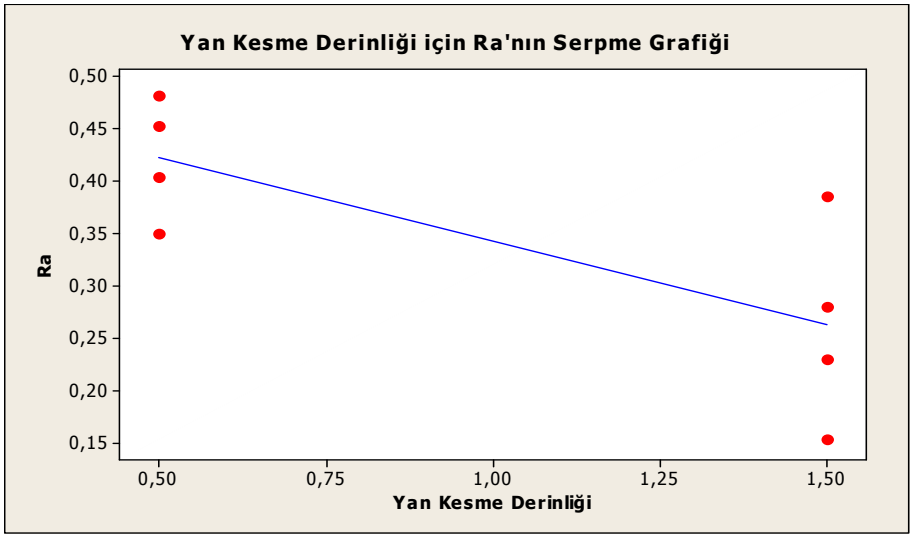
verilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bu grafikler incelendiği zaman, yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda hangi parametrenin nasıl bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.1.'deki grafikler incelediği zaman, yan kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde, istatistiksel analizler sonuçlarında da görüldüğü gibi, en çok etkili faktör olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmadığı sonucu çıkmasına rağmen, grafiklerden de görüleceği üzere dik kesme derinliği, kesme hızı ve ilerlemenin grafiksel olarak etkileri görülmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü değerleri, kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3.1.'de incelendiği zaman görülmektedir ki; en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri, yan kesme derinliğinin ve kesme hızının en yüksek değeri ile dik kesme derinliğinin ve ilerlemenin en düşük olduğu değerde elde edilmiştir. Bu kesme parametrelerinin değerlerinin kombinasyonları, diğer çalışmalarda da yüzey pürüzlülüğü değeri için en iyi sonuçları vermektedir. [Ginting and Nouari, 2006].

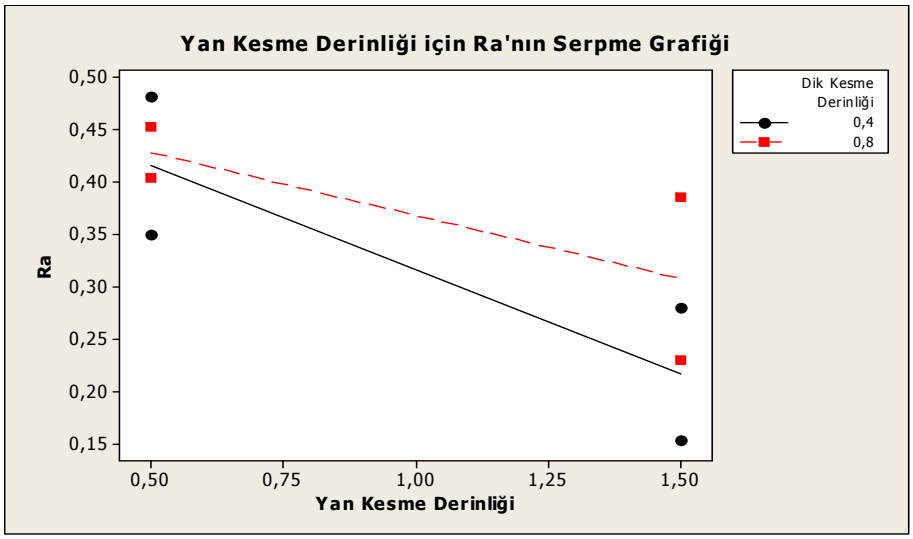


Şekil 3.1. Deney tasarımı 1, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

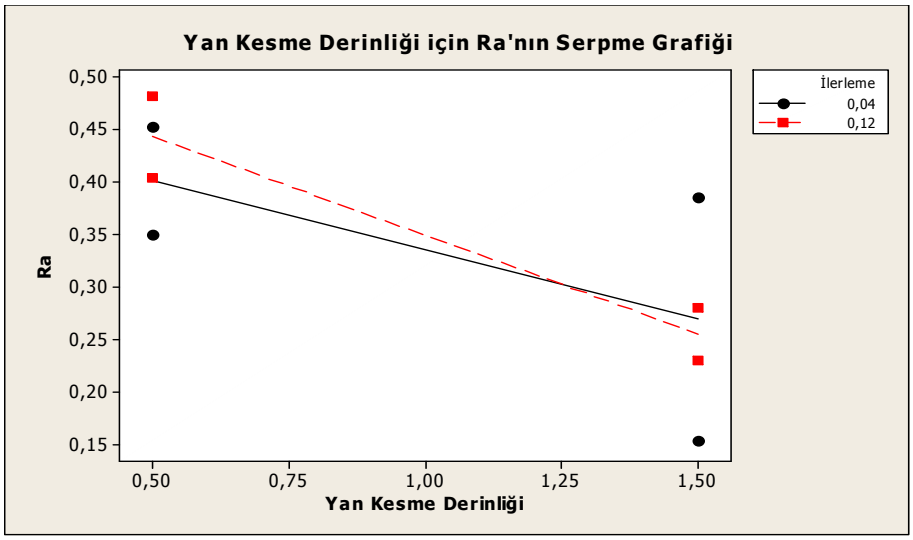
Yan kesme derinliği, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde en çok etkili faktör olduğundan dolayı, yan kesme derinliği ile birlikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerini incelemek için Şekil 3.2.'deki grafikler hazırlanmıştır. Grafiklerden de görüleceği üzere, yan kesme derinliğinin büyük değerinde, kesme hızının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerinde düşüş görülmektedir. Ancak dik kesme derinliği ve ilerleme ile ilgili grafikler incelendiğinde, yan kesme derinliğinin her iki değeri için yüzey pürüzlülüğündeki düşüş, kesme hızındaki gibi artışın tersine, bu iki parametreye ait değerlerin düşüşüyle görülmektedir.



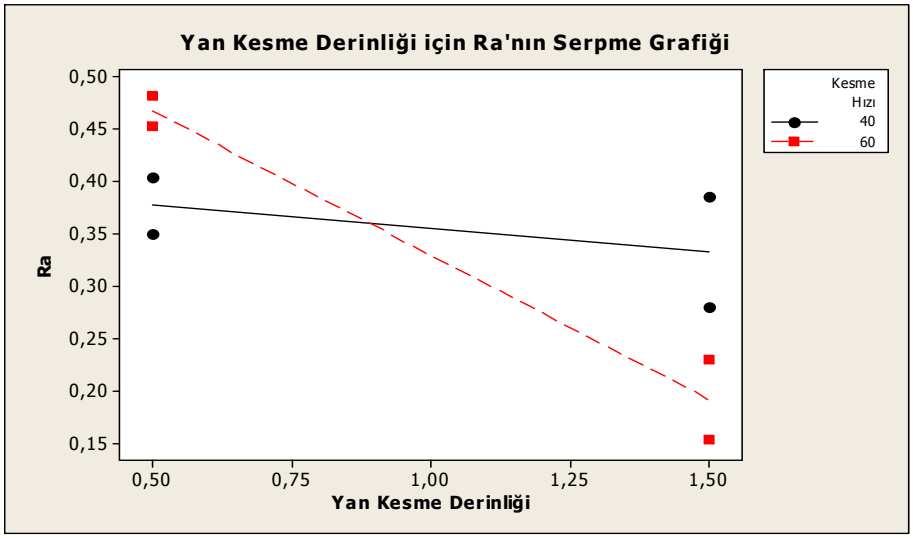
a



b



c



d

Şekil 3.2. Deney tasarımı 1'de; yan kesme derinliğinin R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve ilerlemenin ortak etkisi (c), R_a üzerinde yan kesme derinliği ve kesme hızının ortak etkisi (d).

Belirli α anlamlılık düzeyinde, bağımlı değişkeni açıklayan bağımsız değişken, sadece yan kesme derinliğidir. Bu bağımsız değişkenin hangi bölümünün bağımlı değişken, yani R_a üzerinde daha fazla farklılığa sebep olduğunu anlamak için tek faktörlü varyans analizi yapılmıştır (Ek 1). Analiz sonucunda yan kesme derinliliğinin düşük değerinin R_a üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

3. 1. 2. Deney Tasarımı 2 için Sonuçlar ve Analizler

Bu bölümde; deney tasarımı 2 ile gerçekleştirilen deneylerde, iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarak da takım–1 kullanılması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sonuçları, çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analizler; normallik testi, varyansların eşitliği testi ve regrasyon analizine ait analiz çıktıları Ek 2'de verilmiştir.

3. 1. 2. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Deney tasarımı 2'deki deneylerin gerçekleştirilmesi sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deneyde kullanılan kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Deney tasarımı 2 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**	**Ortalama R_a**
Deney No 1	0,6	0,3	80	0.12	0,342
Deney No 2	0,6	0,3	120	0.04	0,376
Deney No 3	0,6	0,5	80	0.04	0,228
Deney No 4	0,3	0,5	120	0.04	0,367
Deney No 5	0,6	0,5	120	0.12	0,412
Deney No 6	0,3	0,3	80	0.04	0,181
Deney No 7	0,3	0,5	80	0.12	0,221
Deney No 8	0,3	0,3	120	0.12	0,353

3. 1. 2. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu

Titanyum malzemesinin önceki bölümde özellikleri verilen takım–1 ile işlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmada kesme hızı, ilerleme, dik kesme derinliği ve yan kesme derinliğine göre elde edilen deney sonuçları Tablo 3.2.'de

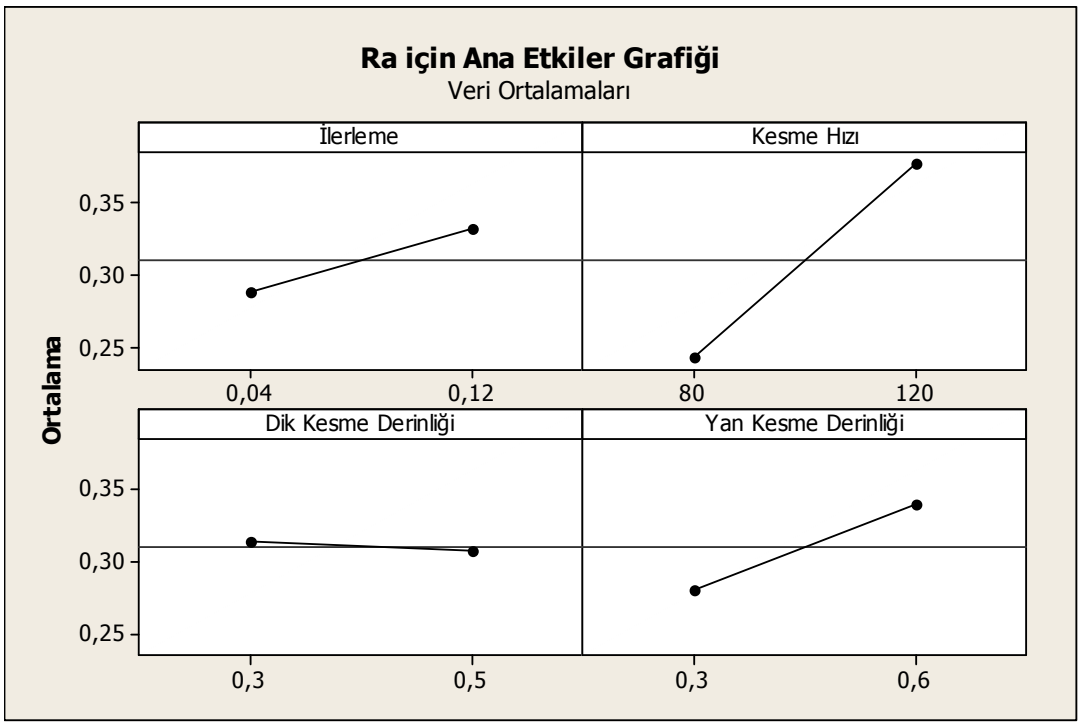
görülmektedir. Planlanan deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin istatistiksel analizi gerçekleştirilmiş ve Ek 2'de analiz çıktıları verilmiştir. Bu analizlerde izlenen yöntem hakkında da bölüm başlangıcında gerekli bilgiler verilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, belirli anlamlılık düzeyinde kesme parametreleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında istatistiksel olarak ilişki, kesme parametrelerinden yan kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme regrasyon analizi içerisine dâhil edildiği zaman gözükmektedir. Yan kesme derinliği, kesme hızı ve ilerlemenin bağımlı değişken R_a ile ilişkisinin tespiti için gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçlarına Ek 2'den baktığımızda regrasyon modelinin gerçek açıklama gücü değerini gösteren adjusted R squared değerinin % 81,8 ve en önemlisi ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan p değerinin 0, 02 olduğu görülmektedir. Elde edilen p değeri de α değeri 0,05 den büyük olduğu için modelin bağımlı değişkeni açıklamada, regresyon analizi içerisindeki bağımsız değişkenlere ait p değerleri dikkate alınmadan, önemli katkı sağladığı görülmektedir.

Regrasyon analizi içerisindeki kesme parametrelerinin p değerlerine baktığımızda bunlardan kesme hızının değerinin p = 0, 007, yan kesme derinliği değerinin p = 0, 086 ve ilerleme değerinin p = 0, 166 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere istatistiksel olarak en etkili faktörün, α = 0,05 anlamlılık düzeyinde kesme hızı olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer faktörler olan ilerleme ve yan kesme derinliğinin, belirlenmiş olan anlamlılık düzeyinde kesme hızı gibi etkili olmadığı gözükmektedir. Bundan dolayı, anova testi sonucu p değeri α anlamlılık düzeyinden küçük olmasına rağmen, regrasyon analizine test sonucunda kesme parametreleri için elde edilen p değerlerine dikkat edilerek devam edilmiştir. Her gerçekleştirilen regrasyon analizi sonrası en yüksek p değerine sahip kesme parametresi regrasyon modelinden çıkartılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun neticesinde regrasyon modelinin bağımlı değişkeni açıklamasında, tek değişkenli bir regrasyon analiz gerçekleştirilmiştir. Bu modelde yer alan bağımsız değişken olan kesme parametresi ise yukarıda analiz neticesinde gördüğümüz, kesme hızıdır.

Kesme hızı, gerçekleştirilen deney tasarımında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde regrasyon analizi sonucundaki bağımsız değişkenlere

ait p değerleri ve anavo testi sonucundaki p değerleri dikkate alındığında, istatistiksel olarak tek etkili kesme parametresi olarak gözükmektedir. Ancak bu sonuçtan kesme hızı dışında, diğer kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde etkisi olmadığı anlaşılmamalıdır. Diğer kesme parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasından, kesme parametrelerinin bölüm değerlerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır [Vivancos et al, 2005].

Deney çalışması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin oluşmasına etki eden kesme parametreleri arasında meydana gelen ilişkilerin grafikleri Şekil 3.3.'de verilmiştir. Elde edilen bu grafiklere bakılarak yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda hangi parametrenin nasıl bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.3.'deki grafikler incelediği zaman, kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde, istatistiksel analizlerde de çıktığı gibi, en çok etkili faktör olduğu gözükmektedir. İstatistiksel olarak diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmadığı sonucu çıkmasına rağmen, grafiklerden de görüleceği üzere dik kesme derinliği, yan kesme derinliği ve ilerlemenin grafiksel olarak etkileri gözükmektedir.

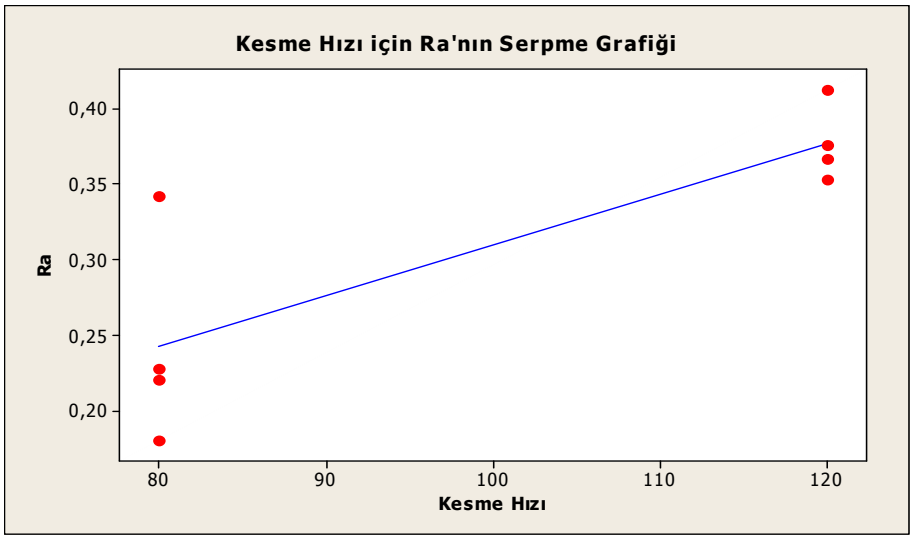


Şekil 3.3. Deney tasarımı 2, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

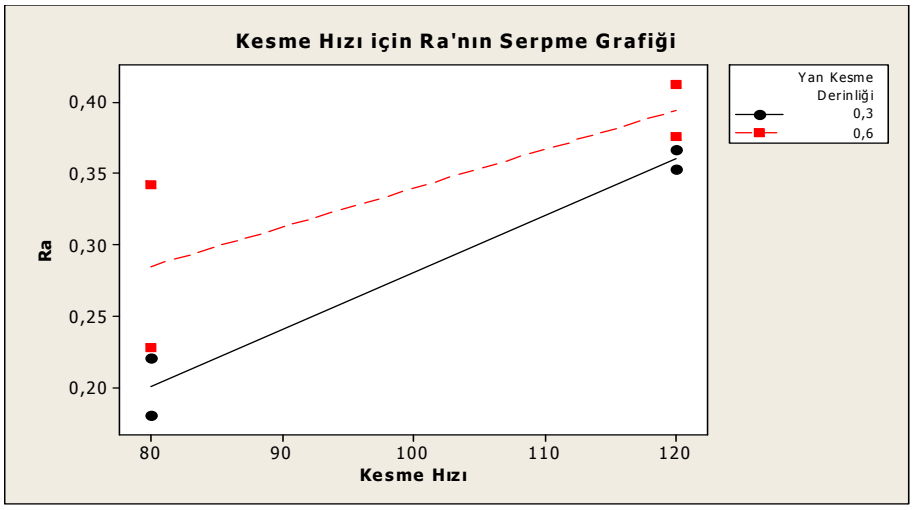
Yüzey pürüzlülüğü değerlerine Tablo 3.2.'den de bakılacağı üzere en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri yan kesme derinliğinin, kesme hızının, dik kesme derinliğinin ve ilerlemenin en düşük değerlerinde elde edilmiştir.

Kesme hızı ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde en çok etkili faktör olduğundan dolayı, kesme hızı ile birilikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerini incelemek için Şekil 3. 4.'deki grafikler hazırlanmıştır. Grafiklerden de görüleceği üzere kesme hızının her iki değeri içinde yan kesme derinliğinin ve ilerlemenin artışı ile yüzey pürüzlülüğü değerinde yükseliş gözükmektedir. Dik kesme derinliğinde ise kesme hızının her iki değeri için yüzey pürüzlülüğündeki düşüş grafikten de inceleneceği üzere dik kesme derinliğinin düşüşüyle beraber olmaktadır ama bu grafikte tam olarak açık değildir.

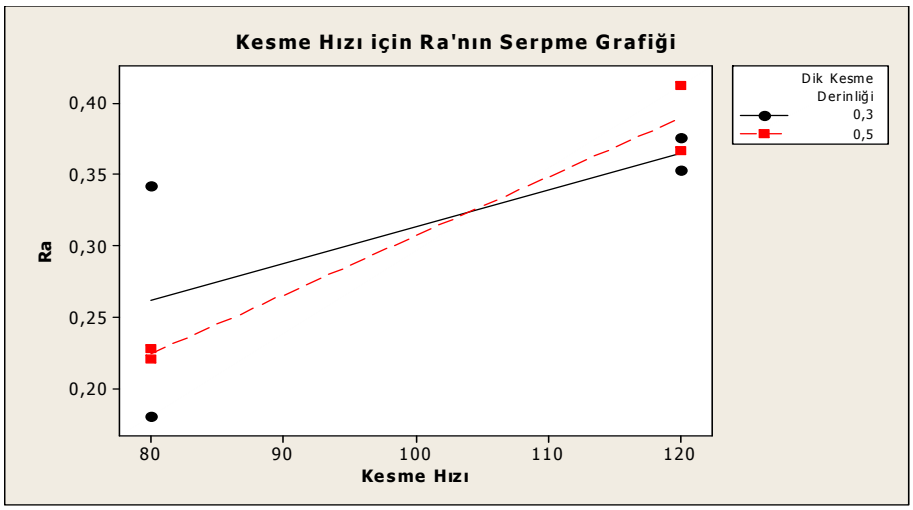
Belirli α anlamlılık düzeyinde bağımlı değişkeni açıklayan bağımsız değişken sadece kesme hızıdır. Bu bağımsız değişkenin hangi bölümünün bağımlı değişken yani R_a üzerinde daha fazla farklılığa sebep olduğunu anlamak için tek faktörlü varyans analizi yapılmıştır (Ek 2). Analiz sonucunda kesme hızının düşük değerinin R_a üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.



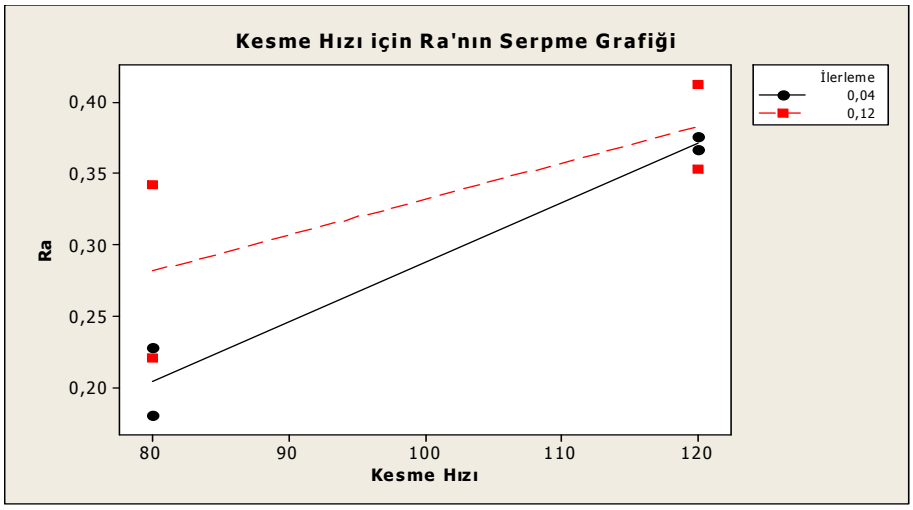
a



b



c



d

Şekil 3.4. Deney tasarımı 2'de; kesme hızının R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (d).

3. 1. 3. Deney Tasarımı 3 için Sonuçlar ve Analizler

Bu bölümde; deney tasarımı 3 ile gerçekleştirilen deneylerde, iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarakta takım–2 kullanılması sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sonuçları, çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analizler; normallik testi, varyansların eşitliği testi ve regrasyon analizine ait analiz çıktıları Ek 3'de verilmiştir.

3. 1. 3. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Deney tasarımı 3'deki deneylerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deneyde kullanılan kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3. 3.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Deney tasarımı 3 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)sonuçları.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**	**Ortalama R_a**
Deney No 1	0,6	0,3	80	0.12	0,523
Deney No 2	0,6	0,3	120	0.04	0,460
Deney No 3	0,6	0,5	80	0.04	0,217
Deney No 4	0,3	0,5	120	0.04	0,359
Deney No 5	0,6	0,5	120	0.12	0,644
Deney No 6	0,3	0,3	80	0.04	0,375
Deney No 7	0,3	0,5	80	0.12	0,651
Deney No 8	0,3	0,3	120	0.12	0,466

3. 1. 3. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu

Titanyum malzemesinin önceki bölümde özellikleri verilen takım–2 ile işlenmesi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada; kesme hızı, ilerleme, dik kesme derinliği ve yan kesme derinliğine göre elde edilen deney sonuçları Tablo 3.3.'de

görülmektedir. Planlanan deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin, istatistiksel analizi gerçekleştirilmiş ve analiz çıktıları Ek 3'de verilmiştir. Bu analizlerde izlenen yöntem hakkında da bölüm başlangıcında gerekli bilgiler verilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, belirli anlamlılık düzeyinde tüm kesme parametreleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında istatistiksel olarak bir ilişki çıkmamıştır. Bu ilişkinin tespiti için gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçlarına Ek 3'den bakıldığında regrasyon modelinin gerçek açıklama gücü değerini gösteren adjusted R squared değerinin %19,7 ve en önemlisi ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan p değerinin 0,401 olduğu görülmektedir. Elde edilen p değeri de α değeri 0,05 den büyük olduğu için modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağlamadığı görülmektedir.

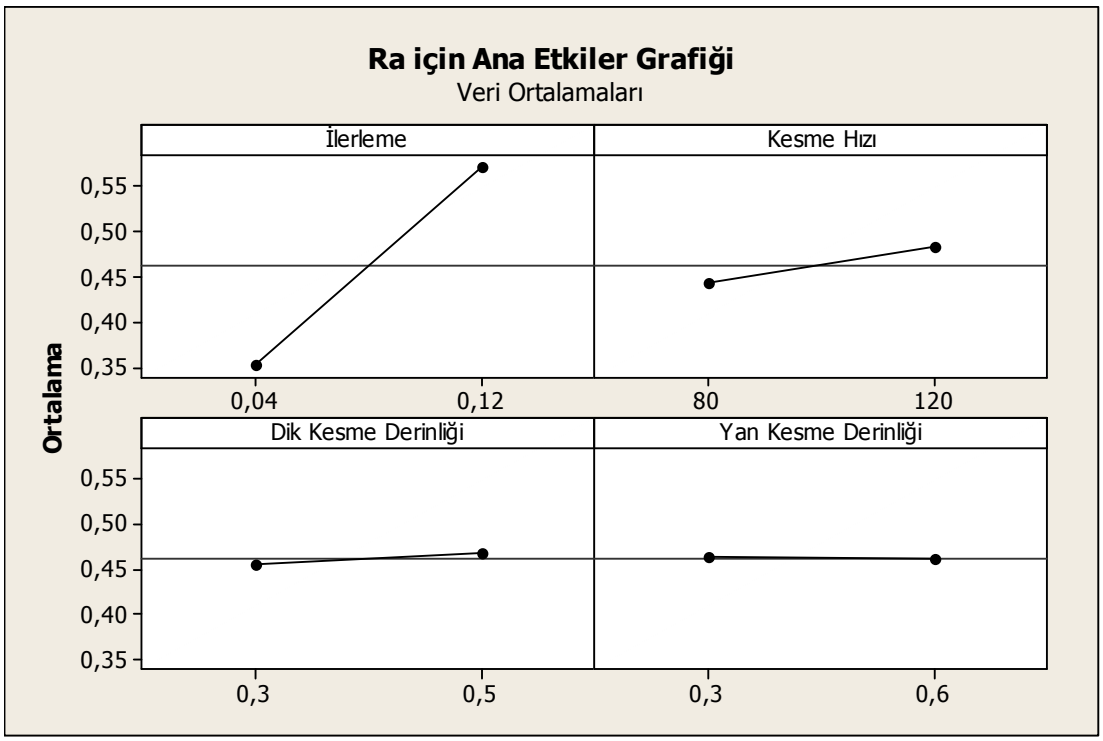
Regrasyon analizine, test sonucunda kesme parametreleri için elde edilen p değerlerine dikkat edilerek devam edilmiştir. Gerçekleştirilen her regrasyon analizi sonrası en yüksek p değerine sahip kesme parametresi, regrasyon modelinden çıkartılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Regrasyon modelinin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağladığı model, tek değişkenli bir regrasyon analiz gerçekleştirilerek tespit edilmiştir. Bu modelde yer alan bağımsız değişken olan kesme parametresi ise yukarıda analiz neticesinde gördüğümüz, ilerleme bağımsız değişkenidir.

İlerleme, gerçekleştirilen deney tasarımından elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde istatistiksel olarak tek etkili kesme parametresi olarak görülmektedir. Ancak bu sonuçtan da ilerleme dışında, diğer kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde etkisi olmadığı anlaşılmamalıdır. Diğer kesme parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasından, kesme parametrelerinin bölüm değerlerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır [Vivancos et al, 2005].

Deney çalışması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin oluşmasına etki eden kesme parametreleri arasında meydana gelen ilişkilerin grafikleri Şekil 3.5.'de

verilmiştir. Elde edilen bu grafiklere bakılarak yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda hangi parametrenin nasıl bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 3. 5.'deki grafikler incelendiği zaman, ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde, istatistiksel analizlerde de çıktığı gibi en çok etkili faktör olduğu gözükmektedir. İstatistiksel olarak diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmadığı sonucu çıkmasına rağmen, grafiklerden de görüleceği üzere dik kesme derinliği, yan kesme derinliği ve ilerlemenin grafiksel olarak etkileri gözükmektedir. Ancak dik kesme ve yan kesme derinliklerinin, bu deney tasarımında yüzey pürüzlüğü değerlerine etkisi grafiksel olarak görülmemesine rağmen, ilerleme ile birlikte bu parametrelerin ortak etkilerini gösteren Şekil 3.6.'daki grafiklere bakıldığı zaman yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri daha açık bir şekilde belli olmaktadır.

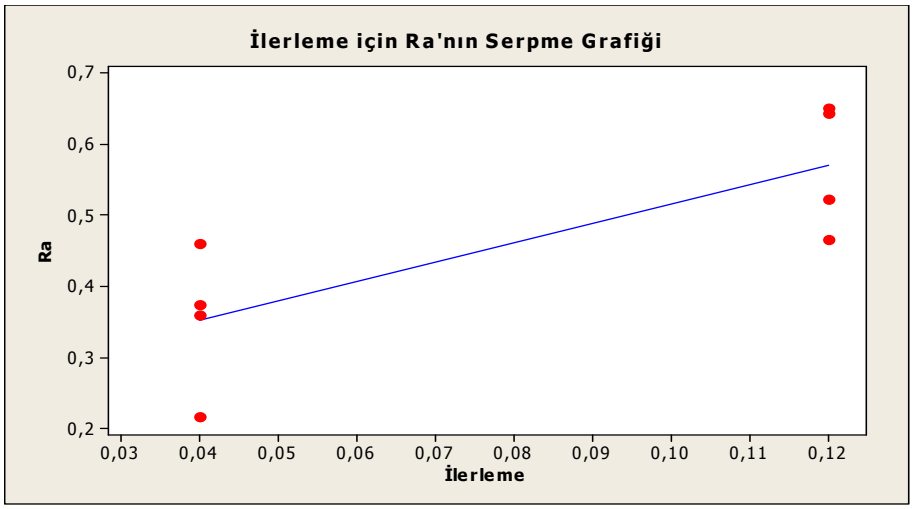
Yüzey pürüzlülüğü değerlerine Tablo 3.3.'den de bakılacağı üzere en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri yan kesme derinliğinin en yüksek değeri ile kesme hızı ve ilerlemenin en düşük değerlerinde elde edilmiştir.



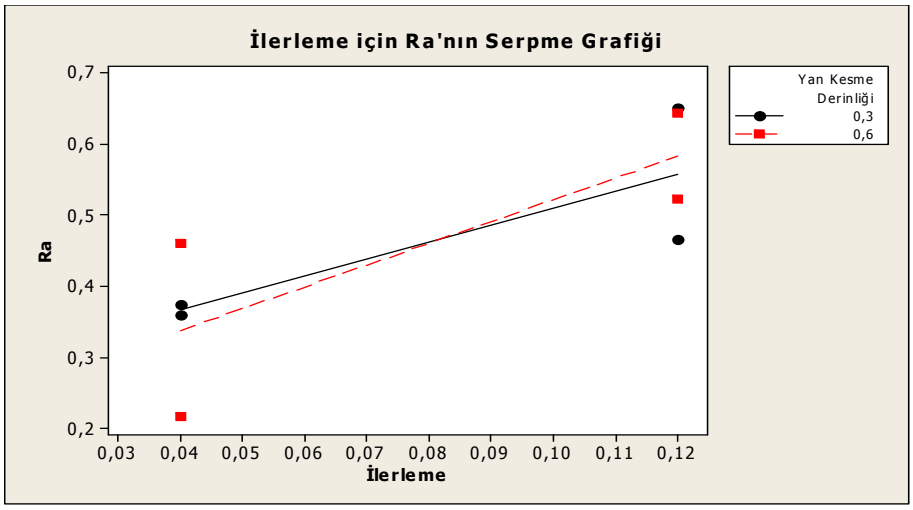
Şekil 3.5. Deney tasarımı 3, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

İlerleme, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde en çok etkili faktör olduğundan dolayı, ilerleme ile birilikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerini incelemek üzere Şekil 3. 6.'daki grafikler hazırlanmıştır. Grafiklerden de görüleceği gibi ilerlemenin küçük değeri için kesme hızının artışı ile birlikte, yüzey pürüzlülüğü değerinde yükseliş gözükürken, ilerlemenin büyük değerinde ise kesme hızının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüş gözlemlenmektedir. Dik kesme derinliğinin büyük değeri için ilerlemedeki artış, yüzey pürüzlülüğünde fazla bir yükselişe sebep olurken, küçük değerinde de yükseliş olmasına rağmen dik kesme derinliğinin büyük değerindeki kadar olmamaktadır. Yan kesme derinliği ile ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine birlikte bakıldığında; en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri küçük ilerleme ve büyük yan kesme derinliğinde elde edilmiştir. Yan kesme derinliğinin her iki değeri içinde ilerleme arttığı zaman, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde artış gözükmektedir.

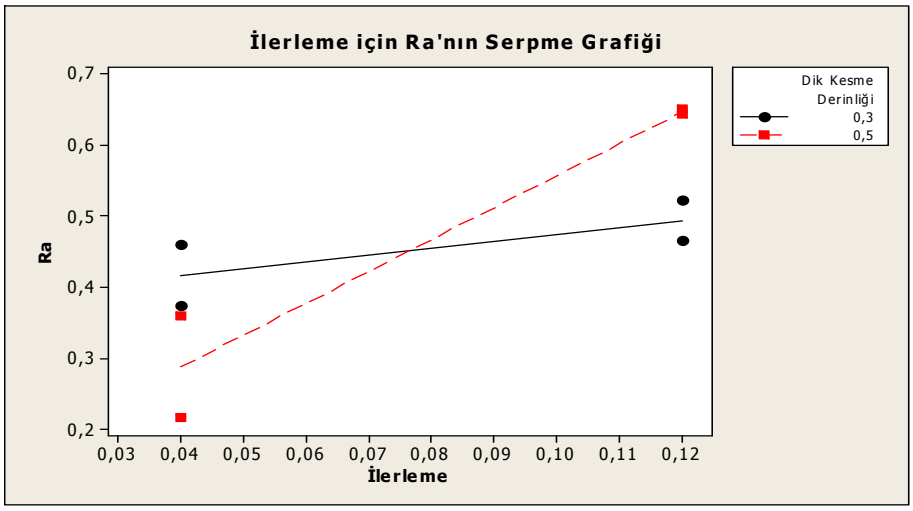
Belirli α anlamlılık düzeyinde, bağımlı değişkeni açıklayan bağımsız değişken sadece ilerlemedir. Bu bağımsız değişkenin hangi bölümünün bağımlı değişken yani R_a üzerinde daha fazla farklılığa sebep olduğunu anlamak için tek faktörlü varyans analizi yapılmıştır (Ek 2). Analiz sonucunda ilerlemenin düşük değerinin R_a üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.



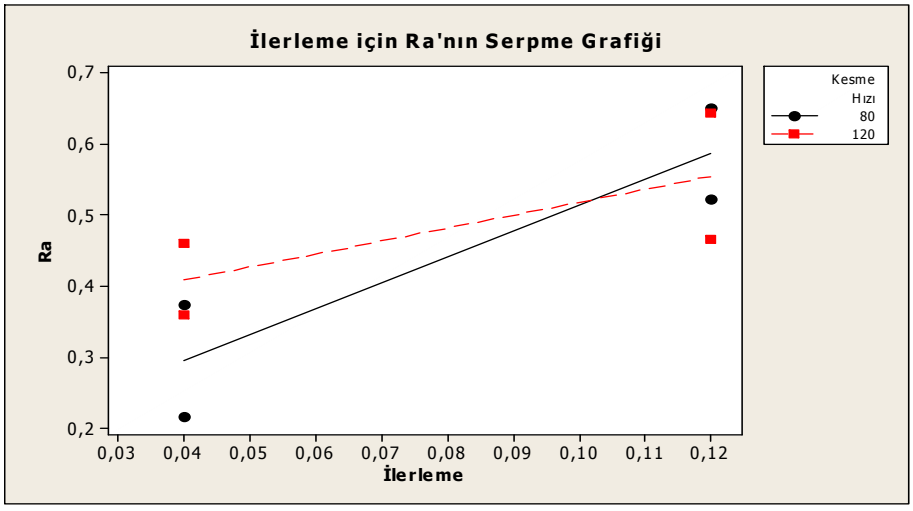
a



b



c



d

Şekil 3.6. Deney tasarımı 3'de; ilerlemenin R_a üzerinde etkisi (a), R_a üzerinde ilerlemenin ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (b), R_a üzerinde ilerleme ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c), R_a üzerinde ilerlemenin ve kesme hızının ortak etkisi (d).

3. 1. 4. Deney Tasarımı 4 için Sonuçlar ve Analizler

Bu bölümde deney tasarımı 4 ile gerçekleştirilen deneylerde, iş parçası olarak Inconel 718 malzemesi, kesici takım olarak da takım–2 kullanılması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sonuçları, çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analizler; normallik testi, varyansların eşitliği testi ve regrasyon analizine ait analiz çıktıları Ek 4'de verilmiştir.

3. 1. 4. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Deney tasarımı 4'deki deneylerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deneyde kullanılan kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3. 4. Deney tasarımı 4 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**	**Ortalama R_a**
Deney No 1	0,6	0,3	40	0.12	0,401
Deney No 2	0,6	0,3	60	0.04	0,441
Deney No 3	0,6	0,5	40	0.04	0,474
Deney No 4	0,3	0,5	60	0.04	0,585
Deney No 5	0,6	0,5	60	0.12	0,612
Deney No 6	0,3	0,3	40	0.04	0,415
Deney No 7	0,3	0,5	40	0.12	0,266
Deney No 8	0,3	0,3	60	0.12	0,250

3. 1. 4. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu

Inconel 718 malzemesinin önceki bölümde özellikleri verilen takım–2 ile işlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmada kesme hızı, ilerleme, dik kesme

derinliği ve yan kesme derinliğine göre elde edilen deney sonuçları Tablo 3.4.'de görülmektedir. Planlanan deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin istatistiksel gerçekleştirilmiş ve analiz çıktıları Ek 4'de verilmiştir. Bu analizlerde izlenen yöntem hakkında bölüm başlangıcında gerekli bilgiler verilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, belirli anlamlılık düzeyinde kesme parametreleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında istatistiksel olarak bir ilişki çıkmamıştır. Bu ilişkinin tespiti için gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçlarına Ek 4'den bakıldığında, regrasyon modelinin gerçek açıklama gücü değerini gösteren adjusted R squared değerinin % 16,4 ve en önemlisi ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan p değerinin 0,421 olduğu görülmektedir. Elde edilen p değeri de α değeri 0,05 den büyük olduğu için modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağlamadığı görülmektedir.

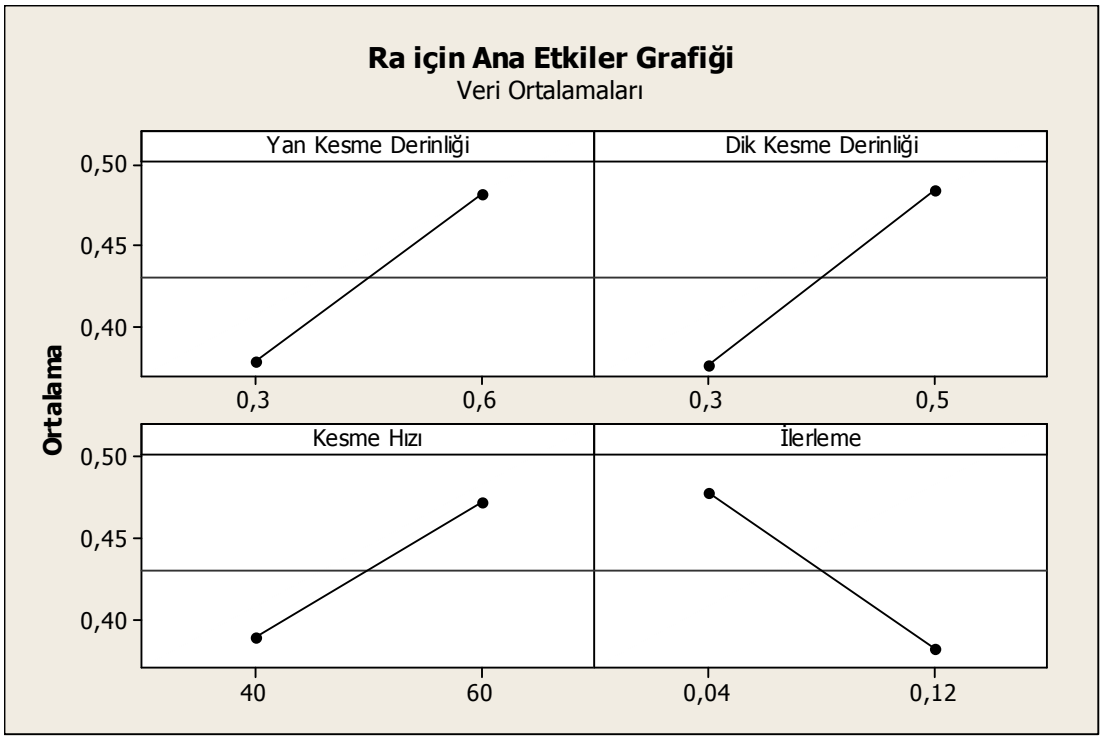
Regrasyon analizine, test sonucunda kesme parametreleri için elde edilen p değerlerine dikkat edilerek devam edilmiştir. Gerçekleştirilen her regrasyon analizi sonrası en yüksek p değerine sahip kesme parametresi, regrasyon modelinden çıkartılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Regrasyon modelinin bağımlı değişkeni açıklaması için en son olarak tek değişkenli bir regrasyon analiz gerçekleştirilerek yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok etkili kesme parametresi tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak belirli anlamlılık düzeyinde bütün kesme parametreleri bağımlı değişkeni regrasyon modelinde anlamlı bir şekilde ifade edememişlerdir.

Analizler sonucunda ortaya çıkan istatistiksel sonuçlardan yan kesme derinliği, dik kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı parametrelerinin, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde etkisi olmadığı anlaşılmamalıdır. Kesme parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasından, kesme parametrelerinin bölüm değerlerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır [Vivancos et al, 2005].

Deney çalışması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin oluşmasına etki eden kesme parametreleri arasında meydana gelen ilişkilerin grafikleri Şekil 3.7.'de

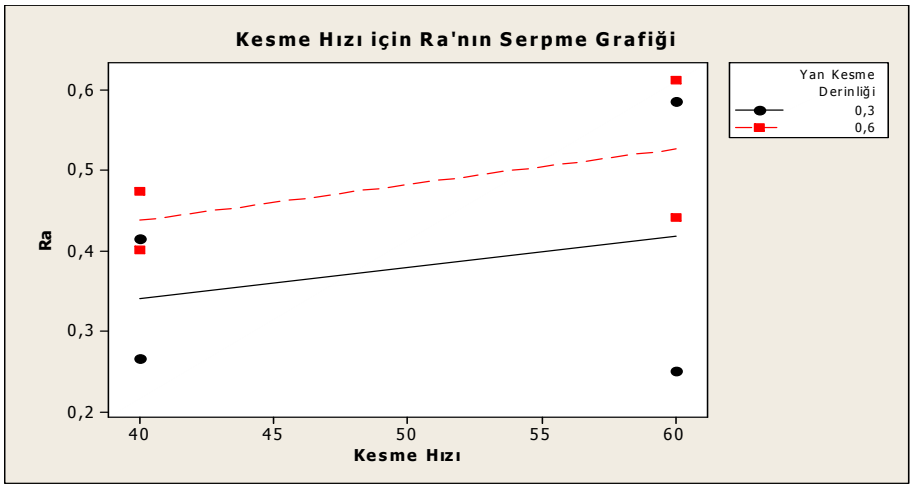
verilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bu grafikler incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda hangi parametrenin nasıl bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.7.'deki grafikleri incelediğimiz zaman, istatistiksel olarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmadığı sonucu çıkmasına rağmen, grafiklerden de görüleceği üzere dik kesme derinliği, kesme hızı, yan kesme derinliğinin ve ilerlemenin grafiksel olarak etkileri gözükmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü değerlerine Tablo 3.4.'den bakıldığında en kötü yüzey pürüzlülüğü değerinin yan kesme derinliğinin, kesme hızının, dik kesme derinliğinin ve ilerlemenin en yüksek değerinde elde edildiği gözükmektedir. Bu kesme parametrelerinin değerlerinin kombinasyonu diğer çalışmalarda da yüzey pürüzlülüğü değeri için en kötü sonuçları verdiği gözlemlenmiştir [Ginting and Nouari, 2006].

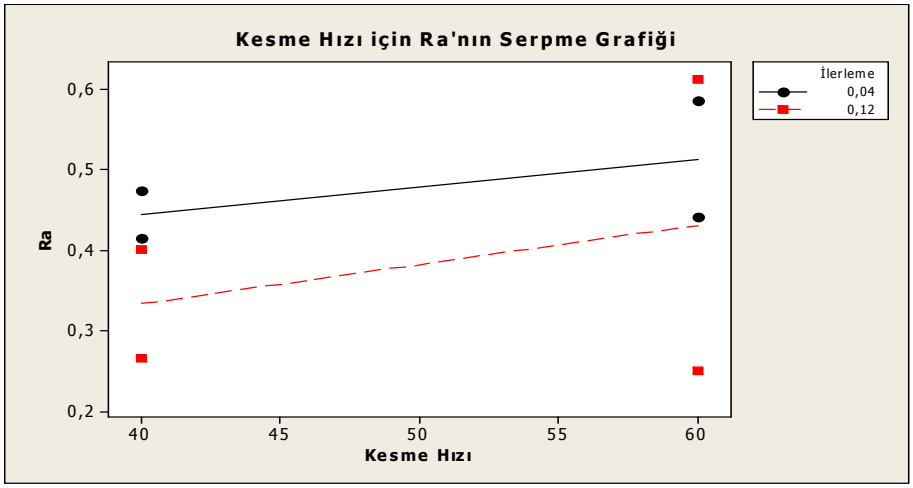


Şekil 3.7. Deney tasarımı 4, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

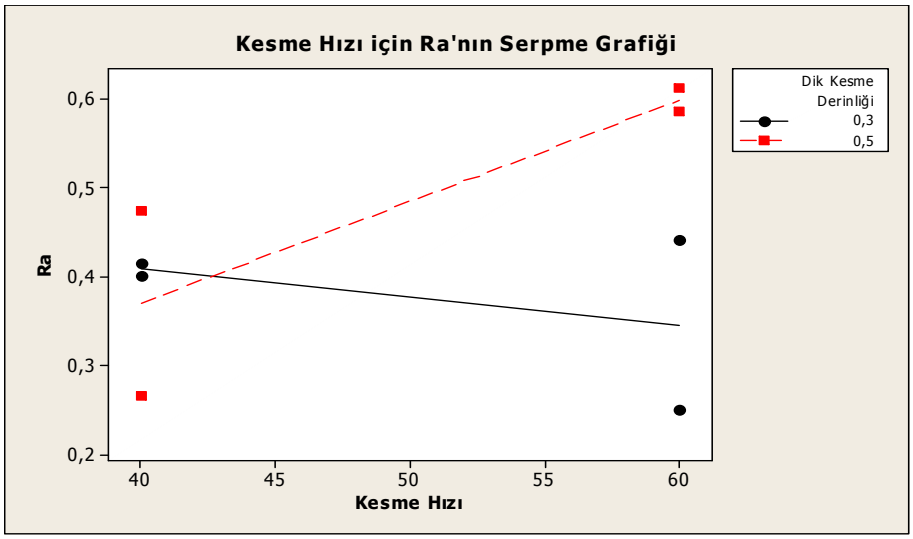
Kesme hızı ile birlikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek için Şekil 3.8.'deki grafikler hazırlanmıştır. Bu bölümde kesme hızı ile birlikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesinin sebebi kesme hızının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinin düşmesidir. Yüksek kesme kuvvetleri, takımda kırılma ve titreşimlere sebep olarak, işlenmiş yüzeyin kalitesinde bozukluklar oluşmasına neden olur. Bundan dolayı kesme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili bir parametredir. Grafiklerden de görüleceği üzere, en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri kesme hızının en büyük değeri ile birlikte yan kesme derinliğin küçük, ilerlemenin büyük ve dik kesme derinliğinin düşük değerinde ortaya çıkmaktadır. Kesme hızının her iki değerinde de yan kesme derinliğinin artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini artırırken, ilerlemenin artışı yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmektedir. Dik kesme derinliğinin yüksek değerinde kesme hızının artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini yükseltmekte iken dik kesme derinliğinin küçük değerinde, kesme hızının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değeri az miktar da iyileşmektedir.



a



b



c

Şekil 3.8. Deney tasarımı 4'de; R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (c).

3. 1. 5. Deney Tasarımı 5 için Sonuçlar ve Analizler

Bu bölümde deney tasarımı 4 ile gerçekleştirilen deneylerde, iş parçası olarak Titanyum malzemesi, kesici takım olarak da deney tasarımı 2 de kullanılmış olan takım–1'in kullanılması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sonuçları, çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler dikkate alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. İstatistiksel analizler; normallik testi, varyansların eşitliği testi ve regrasyon analizine ait analiz çıktıları Ek 5'de verilmiştir.

3. 1. 5. 1. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Deney tasarımı 5'deki deneylerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, her bir deneyde kullanılan kesme parametreleriyle birlikte Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Deney tasarımı 5 için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) sonuçları.

	A (mm)	**B (mm)**	**C (m/dak)**	**D (mm/diş)**	**Ortalama R_a**
Deney No 1	0,6	0,3	80	0.12	0,397
Deney No 2	0,6	0,3	120	0.04	0,365
Deney No 3	0,6	0,5	80	0.04	0,304
Deney No 4	0,3	0,5	120	0.04	0,405
Deney No 5	0,6	0,5	120	0.12	0,444
Deney No 6	0,3	0,3	80	0.04	0,366
Deney No 7	0,3	0,5	80	0.12	0,382
Deney No 8	0,3	0,3	120	0.12	0,359

3. 1. 5. 2. Analizlerin Değerlendirilmesi ve Deney Sonuçlarının Yorumu

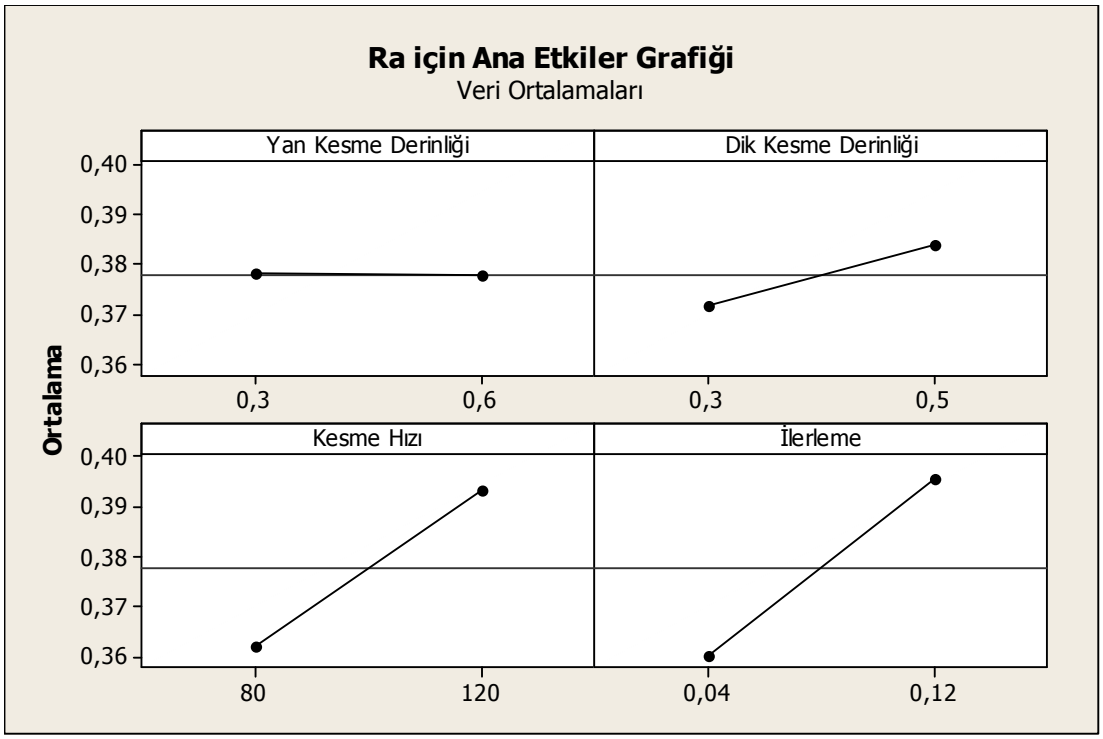
Titanyum malzemesinin önceki bölümde özellikleri verilen ve deney tasarımı 2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmada; kesme hızı, ilerleme, dik kesme derinliği ve yan kesme derinliğine göre elde edilen deney sonuçları Tablo 3.5.'de görülmektedir. Planlanan deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinin istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiş ve analiz çıktıları Ek 5'de verilmiştir. Bu analizlerde izlenen yöntem hakkında da bölüm başlangıcında gerekli bilgiler verilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, belirli anlamlılık düzeyinde kesme parametreleri ile ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında istatistiksel olarak bir ilişki çıkmamıştır. Bu ilişkinin tespiti için gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçlarına Ek 5'den bakıldığında, regrasyon modelinin gerçek açıklama gücü değerini gösteren adjusted R squared değerinin % 0,0 ve en önemlisi ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan p değerinin 0,735 olduğu görülmektedir. Elde edilen p değeri de α değeri 0,05'den büyük olduğu için modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağlamadığı görülmektedir.

Regrasyon analizine, test sonucunda kesme parametreleri için elde edilen p değerlerine dikkat edilerek devam edilmiştir. Gerçekleştirilen her regrasyon analizi sonrası en yüksek p değerine sahip kesme parametresi, regrasyon modelinden çıkartılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Regrasyon modelinin bağımlı değişkeni açıklaması için en son olarak, tek değişkenli bir regrasyon analiz gerçekleştirilerek yüzey pürüzlülüğü üzerinde en çok etkili kesme parametresi tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak belirli anlamlılık düzeyinde bütün kesme parametreleri bağımlı değişkeni regrasyon modelinde anlamlı bir şekilde ifade edememişlerdir.

Analizler sonucunda ortaya çıkan istatistiksel sonuçlardan yan kesme derinliği, dik kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde etkisi olmadığı anlaşılmamalıdır. Kesme parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasından, kesme parametrelerinin bölüm değerlerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır [Vivancos et al, 2005].

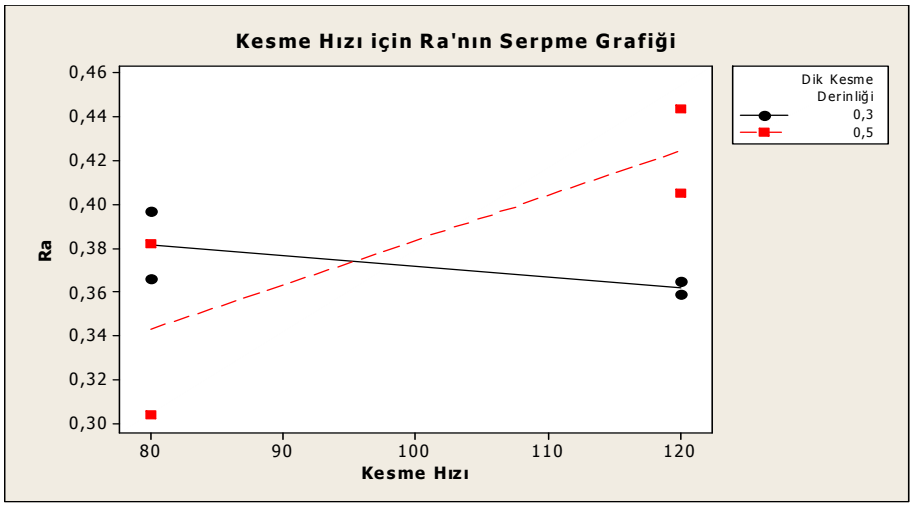
Deney çalışması sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile bu değerlerinin oluşmasına etki eden kesme parametreleri arasında meydana gelen ilişkilerin grafikleri Şekil 3.17.'de verilmiştir. Elde edilen bu grafiklere bakılarak yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda hangi parametrenin nasıl bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.17.'deki grafikleri incelediğimiz zaman, istatistiksel olarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olmadığı sonucu çıkmasına rağmen, grafiklerden de görüleceği üzere; dik kesme derinliği, kesme hızı, yan kesme derinliğinin ve ilerlemenin grafiksel olarak etkileri gözükmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü değerlerine Tablo 3.5.'den de bakıldığında en kötü yüzey pürüzlülüğü değeri yan kesme derinliğinin, kesme hızının, dik kesme derinliğinin ve ilerlemenin en yüksek değerinde elde edildiği görülmektedir. Kesme hızı ile ilerlemenin düşük, yan kesme ve dik kesme derinliğinin yüksek değerlerinde ise en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri tespit edilmiştir.

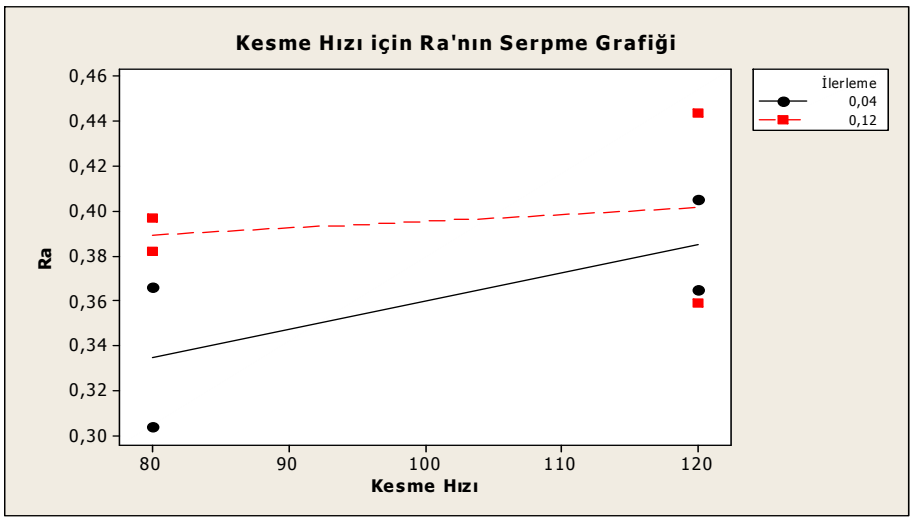


Şekil 3.9. Deney tasarımı 5, deney sonuçları üzerinde kesme parametrelerinin etkisi

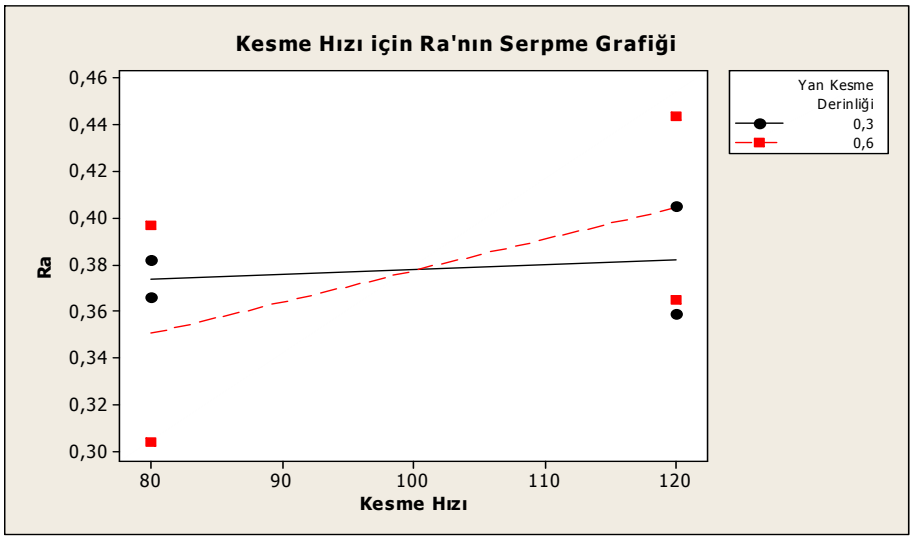
Kesme hızı ile birlikte diğer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek için Şekil 3.10.'daki grafikler hazırlanmıştır. Bu bölümde kesme hızı ile birlikte diğer kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesinin sebebi kesme hızının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinin düşmesidir. Yüksek kesme kuvvetleri, takımda kırılma ve titreşimlere sebep olarak, işlenmiş yüzeyin kalitesinde bozukluklar oluşmasına neden olur. Bundan dolayı kesme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili bir parametredir. Grafiklerden de görüleceği üzere; en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, kesme hızının küçük değeri ile birlikte, yan kesme derinliğin büyük, ilerlemenin küçük ve dik kesme derinliğinin yüksek değerinde ortaya çıkmaktadır. Kesme hızının her iki değerinde de ilerlemenin artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini yükseltmektedir. Dik kesme derinliğinin yüksek değerinde kesme hızının artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini yükseltmekte iken, dik kesme derinliğinin küçük değerinde ise kesme hızının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü azda olsa iyileşmektedir. Yan kesme derinliğinin büyük değerinde kesme hızının artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini yükseltmektedir.



a



b



c

Şekil 3.10. Deney tasarımı 5'de; R_a üzerinde kesme hızı ve dik kesme derinliğinin ortak etkisi (a), R_a üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin ortak etkisi (b), R_a üzerinde kesme hızı ve yan kesme derinliğinin ortak etkisi (c).

3. 2. Takım Aşınması Ölçüm Deneyleri Sonuçları ve Analizleri

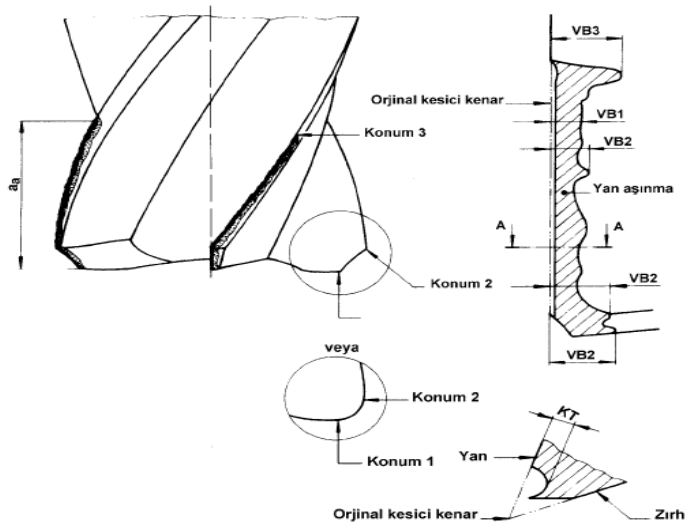
Gerçekleştirilen çalışmada, takım aşınması deney sonuçlarının güvenirliliğini ve karşılaştırılabilirliğini artırmak için Türk Standartları Enstitüsünün TS ISO 8688-2 nolu standardı göz önünde bulundurulmuştur.

TS ISO 8688–2 standardı, aşınma biçiminde takım bozulmasının takım ömrünü belirlemek için kullanılmasını tavsiye eder. Bu standarda göre güvenilir ve çeşitli kaynaklardan elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilir deney değerleri oluşturmak için aşağıda açıklanacak takım bozulma durumu bilgilerine göre takım bozulma durumlarını tanımlamak ve sınıflandırmak, bunları takım ömür kriteri olarak kullanılan takımın bozulma olayına göre kullanışlı takım ömrünün sonunu belirlemek için kullanılması gereken sınırlayıcı değerlerle birlikte tavsiye etmek gereklidir.

Her tip bozulma, kesme şartlarına bağlı olarak çeşitli yollarla ilerleyecek veya oluşacaktır. Birden fazla bozulma biçiminin ölçülebilir hale geldiği yerlerde, her biri kayıt edilmeli ve herhangi bir bozulma olayının sınırlarına gelindiği zaman takım ömrünün sonuna gelindiği düşünülmelidir.

İhtiyaç duyulan deney malzemesi miktarı ve deneyin maliyeti takım bozulmasının sayısal değerine bağlıdır. Sınırlayıcı değer çok yüksek ise sonuçları elde etmenin maliyeti, bu sonuçların değerini aşabilir. Sınırlayıcı değer çok küçük ise elde edilen sonuçlar, deney şartları altında şekil değiştirmenin başlangıç aşamaları esnasında, bu değer belirlenebileceğinden güvenilir olmayabilir.

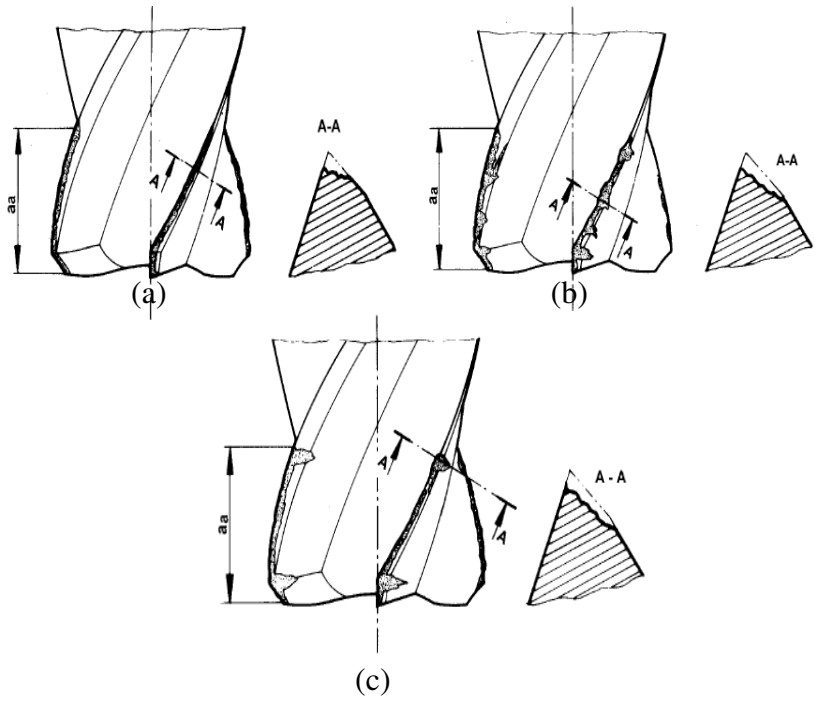
Takım bozulma durumları TS ISO 8688–2 standardında aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir. Yapılan çalışmada gözlenen takım aşınmaları da açıklanan takım bozulma durumlarına göre değerlendirilmiştir. Şekil 3.11.'de parmak frezeleme kesicileri ve kanallı deliciler üstündeki aşınma gösterilmektedir.



Şekil 3.11., Parmak frezeleme kesicileri ve kanallı deliciler üstündeki aşınma.

A) Yanak Aşınması (VB)

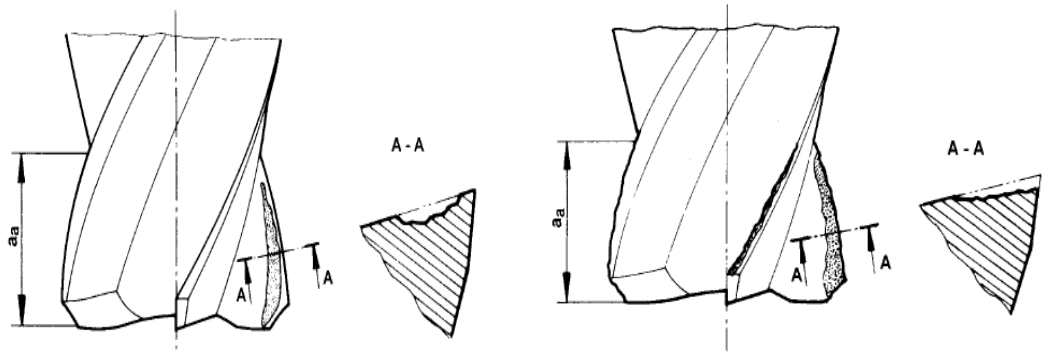
Kesme esnasında takımın yanaklarından, yanak aşınma zırhının sürekli ilerlemesiyle sonuçlanan takım malzemesi kaybı olarak tanımlanır. Yanak aşınması kendi içerisinde düzenli yanak aşınması (VB1), düzensiz yanak aşınması (VB2) ve bölgesel yan aşınma (VB3) olarak üçe ayrılır. Şekil 3.12.'de aşınmalar gösterilmiştir.



Şekil 3.12. (a) Düzenli yanak aşınması (VB1), (b) Düzensiz yanak aşınması (VB2), (c) Bölgesel yan aşınma (VB3).

B) Yüz Aşınması (KT)

Kesme esnasında takım malzemesinin, takımın takım talaş yüzeyinden sürekli kaybedilmesi olarak tanımlanır. Yüz aşınması kendi içerisinde krater aşınması (KT1) ve basamaklı yüz aşınması (KT2) olarak ikiye ayrılır. Krater aşınması; yaklaşık olarak ana kesici kenara paralel olarak yönlenmiş ve ana kesici kenardan bir miktar uzakta en büyük derinliğine ulaşan kraterin ilerleyici gelişimi, basamaklı yüz aşınması ise; takım yüzüne dik ölçülmüş en büyük aşınma izi derinliğinin aşınma izi ile takımın ana yanağının kesişme noktasında olduğu yüz aşınma biçimi olarak tanımlanır. Şekil 3.13.'de aşınmalar gösterilmiştir.

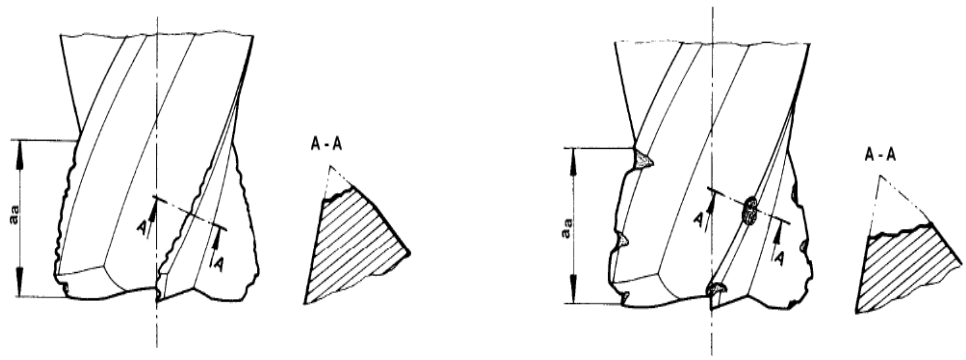


(a) (b)

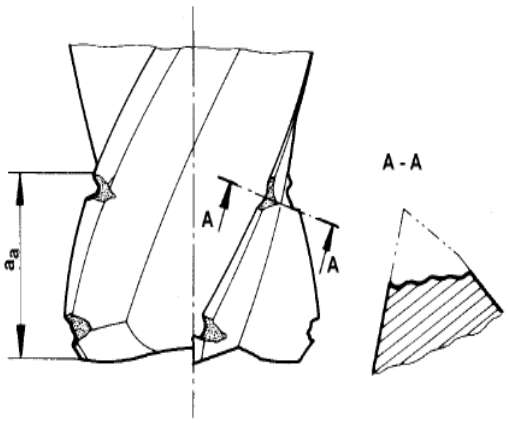
Şekil 3.13. (a) Krater aşınması (KT1), (b) Basamaklı yüz aşınması (KT2).

C) Çentiklenme (CH)

Kenar parçalarının kırılıp koptuğu, kenar bozulması olarak tanımlanmaktadır. Çentiklenme kendi içerisinde; düzenli çentiklenme (CH1), düzensiz çentiklenme (CH2) ve bölgesel çentiklenme (CH3) olmak üzere üçe ayrılır. Şekil 3.14.'de çentiklenme tipleri gösterilmiştir.



(a) (b)

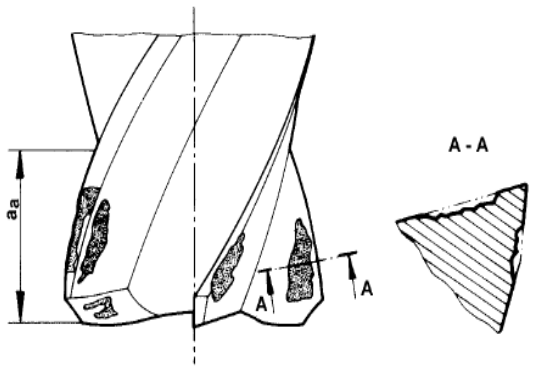


(c)

Şekil 3.14. (a) Düzenli çentiklenme (CH1), (b) Düzensiz çentiklenme (CH2), (c) Bölgesel çentiklenme (CH3).

D) Pullanma (FL)

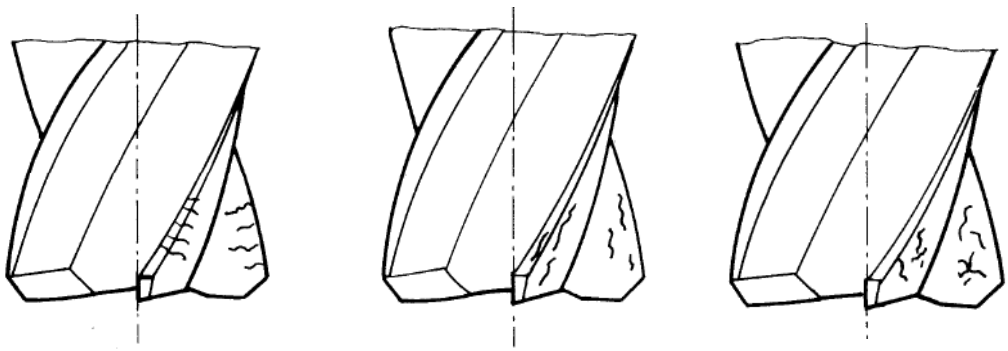
Pul biçimindeki takım parçacıklarının takım yüzeylerinden kaybı. Bu olay en sık kaplanmış takım uçları kullanıldığında gözlenir. Ancak diğer takım malzemelerinde de gözlenebilir. Şekil 3.15.'de pullanma gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Pullanma.

E) Çatlaklar (CR)

Takım malzemesi kaybına anında yol açmayan, kesici takım malzemesinin kırılması olarak tanımlanır. Çatlaklar kendi içerisinde Şekil 3.16.'da gösterildiği gibi tarak dişi şeklinde ki çatlaklar (CR1), paralel çatlaklar (CR2) ve düzensiz çatlaklar (CR3) olmak üzere üçe ayrılır.

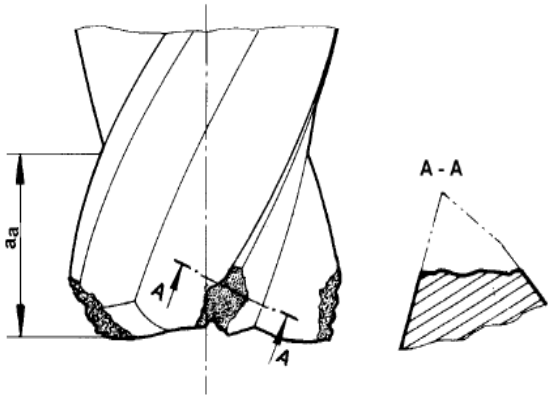


(a) (b) (c)

Şekil 3.16. (a) Tarak dişi şeklinde çatlaklar, (b) Paralel çatlaklar, (c) Düzensiz çatlaklar.

F) Tam Bozulma

Kesici kısmın hızlı şekil değiştirmesiyle tam bozulması durumudur. Bu durum Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Tam bozulma durumu.

Takım ömrü kriteri TS ISO 8688–2 standardında ölçülebilen, herhangi bir takım bozulma tipinin önceden belirlenmiş sayısal değeri olabilir. Birden fazla bozulma biçimi meydana gelmiş ise, her biri kaydedilmelidir. Herhangi bir bozulma biçiminin sınırına gelinmiş ise takım ömrüne ulaşılmış olunur. Belirli bir deney serisinde kullanışlı takım ömrünün son bulmasına, en çok katkı yaptığına inanılan bozulma tipi, belirtilen takım ömrü kriterlerinin seçilmesinde bir kılavuz olarak kullanılmalıdır.

Takım ömrü kriteri olarak, belirli takım aşınma tiplerinin, önceden belirlenmiş bir yapıya göre tanımlanmış sayısal değerinin kriter olarak kullanılması tavsiye

edilir. Örnek olarak belirli bir yan aşınma (VB) genişliği en yaygın kullanılan kriterdir.

Aşağıdakiler, tavsiye edilen takım ömrü sonudur:

- Düzenli aşınma: Bütün ağızlarda ortalama 0,3 mm,
- Bölgesel aşınma: Herhangi bir münferit ağızda en fazla 0,5 mm.

Tavsiye edilen kriterlerin hiçbirinin uygulanamadığı durumlarda, aşağıdaki kriterlerden birini kullanarak, anlamlı veriler elde etmek mümkün olabilir:

- Yüz aşınmasının (KT) belirli bir derinliği bazen bir kriter olarak kullanılır,
- Çentiklenme (CH) kullanılabilecek bir kriterdir,
- Çentiklenme oluştuğunda bu, VB 3'ün 0,5 mm'ye eşit bir değerinin takım ömrünün sonu olarak kullanılan bölgesel aşınma gibi ele alınır,
- Şiddetli bir biçimde çentiklenme (CH) ve pullanma çok özel durumlarda bir kriter olarak kullanılabilir.

Tam bozulma (CF) elde olmayan bir şekilde oluşabilir ve temel bir takım ömrü sonu kriteri olarak kullanılmamalıdır.

Yapılan çalışmada, yukarıdaki açıklamalar dikkate alınarak kesici takımın optik mikroskop altında çekilmiş olan takım - talaş ara yüzeyi kenarı ve takım-iş parçası yüzeyi kenarına ait fotoğraflar yardımı ile takım bozukluk durumları belirlenmeye çalışılmıştır. Takım bozulma durumları, çalışmada değerlendirilen kenara göre sınıflandırılmıştır. Takım–talaş ara yüzeyi kenarında; yüz aşınması, pullanma ve çatlaklar dikkate alınmıştır. Takım-iş parçası ara yüzeyi kenarında ise yanak aşınması ve çentiklenme üzerinde durulmuştur.

Araştırmada, takım aşınması değerlendirilir iken tek bir takım bozulma kriteri üzerinde durulmamıştır. Çünkü ileriki bölümlerde de görüleceği üzere takım ömrü kriteri olan yan aşınma genişliği, deneyler boyunca süreklilik arz etmemiştir. Belirli deney tekrarlarından sonra başka takım bozukluk mekanizmaları ağır basmıştır. Bundan dolayıdır ki bazı deney tasarımlarında takım, TS ISO 8688–2 standardında tam bozulmanın, bir takım ömrü sonu kriteri olarak kullanılmaması açıklanmasına rağmen, takım tam bozulma gerçekleşinceye kadar değiştirilmemiştir.

3. 2. 1. Deney Tasarımı 1 için Sonuçlar ve Analizler

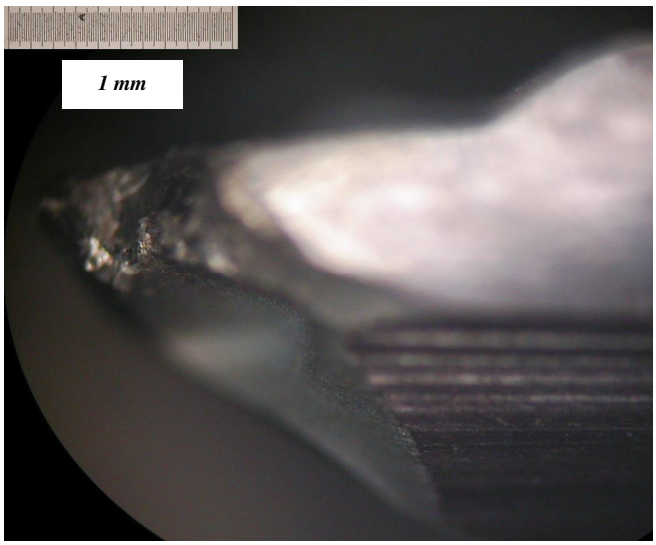
Inconel 718 iş parçasının takım–1 ile işlenmesi sonucunda takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmalarına ait optik mikroskopta çekilmiş fotoğraflar Tablo 3.6.'da verilmektedir. Bu deney tasarımında, iş parçasının işlenmesi sırasında iki kesici takım kullanılmıştır. Deney tasarımının altıncı deneyi yeni takımla gerçekleştirilmiş ve kalan deneyler bu takımla tamamlanmıştır.

Tablo 3.6.'dan takım üzerindeki takım bozulma durumlarını incelediğinde, takım ömrü kriteri olarak deneyler boyunca süreklilik arz eden bir takım aşınma tipi bulunmamaktadır. Takım üzerindeki aşınmalar hızlı bir şekilde gerçekleşmekte ve takım kenarlarında tam bozulma durumu görülmektedir.

Şekil 3.18.'de görülen tam bozulma durumu, takımın serbest yüzey kenarına aittir ve deney tasarımının beşinci deneyinden sonra gerçekleşmiştir. Bu deneyde kesme parametresi olarak yan kesme derinliği, dik kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızının yüksek değerleri kullanılmıştır. Metal kesme işlemlerinde, kesme derinliklerin ve ilerlemenin artışıyla kesme kuvvetleri artmakta ve sürekli değişmektedir. Bunun sebebi; frezeleme işleminde, talaş kalınlığının süreklilik arz etmemesidir. Talaş kalınlığı, ilerlemenin değerine göre değişmekte ve sıfırdan en yüksek değerine kadar çıkmaktadır. Sonuç olarak da kesme kenarında daha fazla ısı üretilmekte ve takımın kesme kenarının maruz kaldığı değişken yüklerden dolayı takım aşınması ilerlemekte ve buna bağlı olarakta takım ömrünü kısalmaktadır.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, takımın kesme kenarlarında düzenli bir takım bozulma durumunun gerçekleşmemesinin sebebi, yukarıda bahsedilen kesme kuvvetlerinin ve bunun sonucunda oluşan ısının etkisidir. Çünkü iş parçası olarak kullandığımız Inconel 718 yüksek sıcaklık çelikleri arasında bulunan bir iş parçasıdır. Inconel 718 malzemesin düşük ısıl özelliklerinden ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruma özelliğinden dolayı, kesme sırasında önemli ısı üretimi olmakta ve

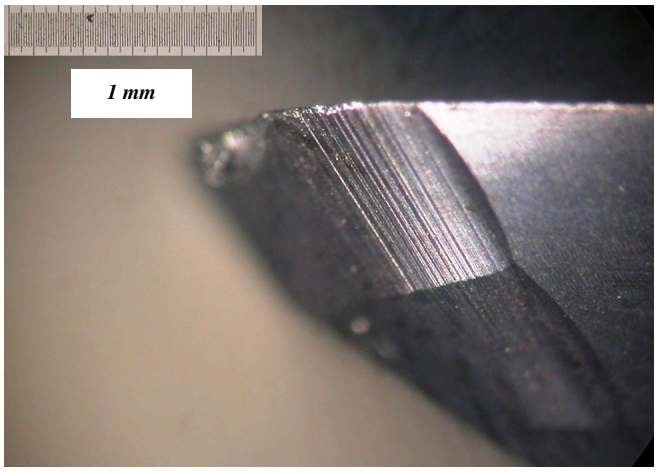
bu ısı takım üzerine aktarılmaktadır. Bu da takımın aşınma direncini düşürmekte ve takım üzerinde ani bozukluklara sebep olmaktadır.



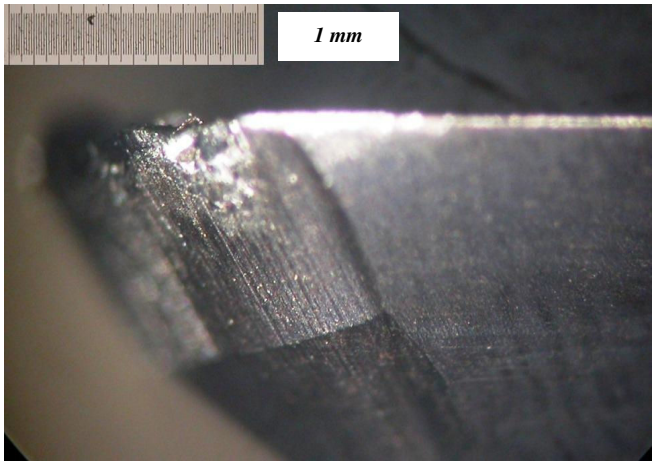
Şekil 3.18. Beşinci deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen tam bozulma durumu.

Deney tasarımında gerçekleştirilen her bir deneyin takım aşınması sonuçlarını Tablo 3.1.'deki kesme parametrelerinin değerlerini dikkate alarak değerlendirirsek, dik kesme derinliğinin ve ilerlemenin artışı ile takımın kesme kenarındaki takım aşınmasının arttığı görülmektedir. Deney 3 ve 4'de işleme sonrası oluşan takım bozukluk durumu bölgesel çentiklenme olarak meydana gelmiştir. Bu deneylerde dik kesme derinliğinin yüksek değerinin kullanılması, Şekil 3.19'dan görüldüğü üzere, önceki deneylerde düzenli olarak gelişen bölgesel yanak aşınmasını ilerletmiş ve takımın kesme kenarı parçalarının kırılıp kopmasına neden olmuştur. Yine aynı şekilde 7. ve 8. deneylerde de bu defa ilerlemenin ve dik kesme derinliğinin artışı, takım aşınmasını ilerletmiş deney 6'da serbest yüzey aşınması görülürken takım bozulma durumu, aşınmanın bir anda artışıyla bölgesel çentiklenmeye dönmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus da aşınmanın artışı ile kesme hızı arasındaki ilişkidir. Gerçekleşen her iki ani aşınma artışında kesme hızı değeri de yükselmiştir. Kesme hızının artışı, kesme sırasında oluşan ısıyı yükseltmektedir. Bu ısı yükselişi ile beraber iş parçasının oluşan ısıdan dolayı akma gerilmesinin düşmesi ve akma gerilmesindeki düşüşe bağlı olarak da kesme

kuvvetlerinin azalması beklenir. Kesme kuvvetlerindeki düşüş sonucunda, takımın kesme kenarına gelen kuvvetler azalacak ve takım aşınması azalacaktır. Ancak bu gelişmeler iş parçası olarak yüksek sıcaklık şartlarında çalışmaya uygun olan malzemeler için geçerli olmamaktadır. Inconel 718, ısının yükselmesine rağmen mukavemetini korumakta ve düşük ısıl iletkenliğinden dolayı da oluşan ısının büyük bir kısmının takıma aktarılmasına neden olmaktadır. Bu özelliklerden dolayı hem kesme kuvvetlerinde fazla değişiklik olmamakta ve takım kenarındaki aşırı ısıdan dolayı takımın aşınma direnci düşmektedir. Bundan dolayı, takım çelikleri gibi sert malzemelerde kesme hızının yüksek, ilerlemenin ve kesme derinliğinin düşük tutularak elde edilen düşük aşınma miktarları, bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarında elde edilememiştir.



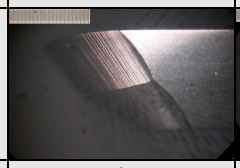
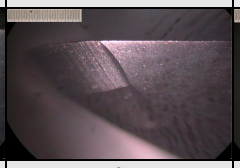
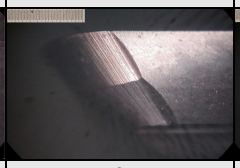
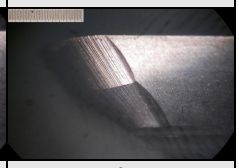
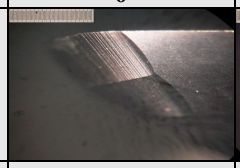
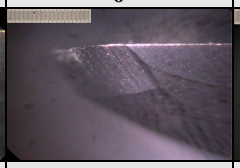
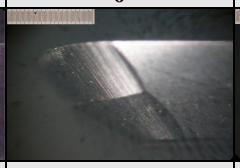
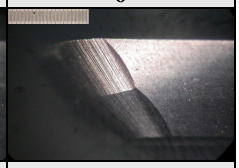
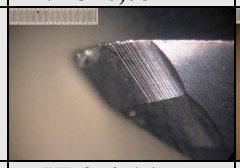
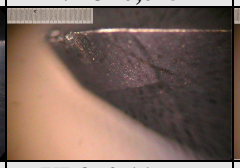
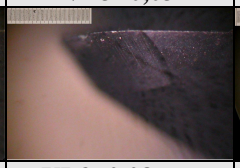
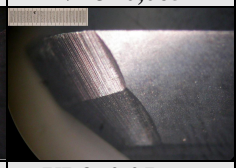
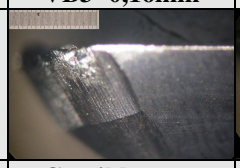
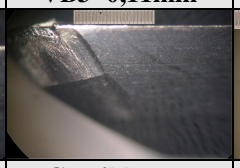
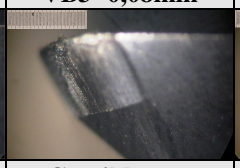
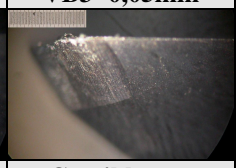
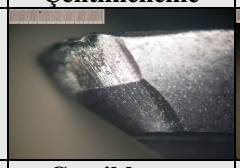
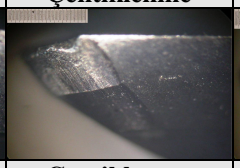
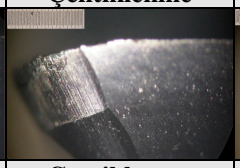
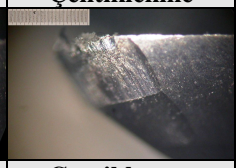
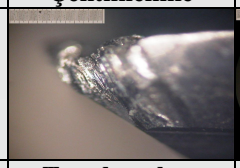
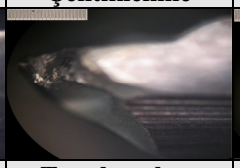
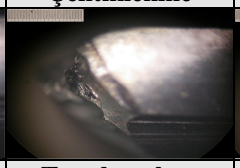
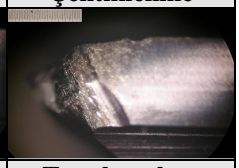
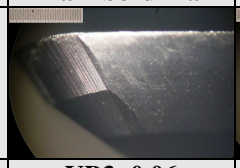
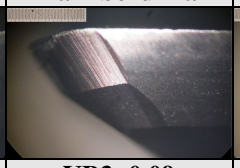
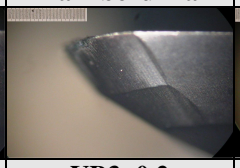
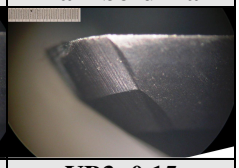
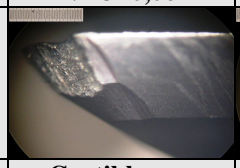
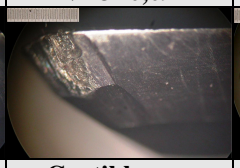
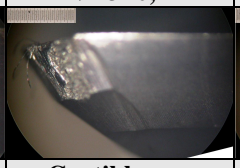
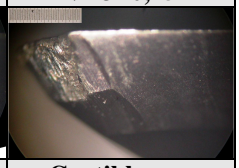
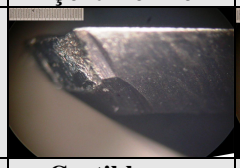
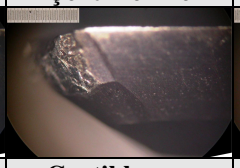
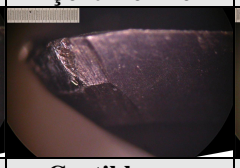
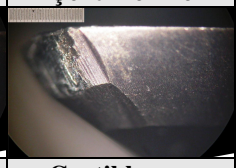
a



b

Şekil 3.19. a) 2. deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen bölgesel yanak aşınması, b) 3. deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen bölgesel çentiklenme.

Tablo 3.6. Inconel 718'in takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

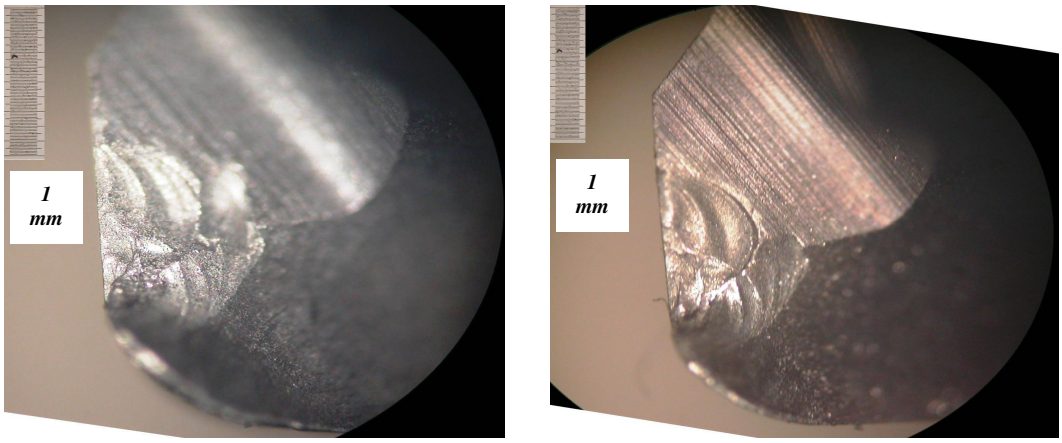
	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	**0**	**0**	**0**	**0**
Deney 1				
Aşınma	**VB3=0,08 mm**	**VB3=0,075**	**VB3=0,03**	**VB3=0,065**
Deney 2				
Aşınma	**VB3=0,16mm**	**VB3=0,11mm**	**VB3=0,08mm**	**VB3=0,05mm**
Deney 3				
Aşınma	**Çentikleneme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 4				
Aşınma	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 5				
Aşınma	**Tam bozulma**	**Tam bozulma**	**Tam bozulma**	**Tam bozulma**
Deney 6				
Aşınma	**VB3=0,06**	**VB3=0,09**	**VB3=0,2**	**VB3=0,15**
Deney 7				
Aşınma	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 8				
Aşınma	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**

3. 2. 2. Deney Tasarımı 2 için Sonuçlar ve Analizler

Titanyum iş parçasının takım–1 ile işlenmesi sonucunda takımın iş parçası - takım ara yüzeyi ve takım - talaş ara yüzeyine ait kenarlarında oluşan takım bozukluk mekanizmalarına ait optik mikroskopta çekilmiş fotoğraflar Tablo 3.7. ve 3.8.'de verilmektedir.

Tablo 3.7.'den takım kesme kenarları üzerindeki takım bozulma durumları incelediği zaman, iş parçası - takım ara yüzeyinde yanak aşınmasının tüm deneyler boyunca düzenli bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Yanak aşınmasının düzenli bir şekilde ilerlemesinden dolayı, takım ömrü kriteri olarak bölgesel yanak aşınması her bir deney için kesici takımın her bir kenarından sayısal olarak tespit edilmiştir. Bölgesel yanak aşınması sonuçlarına Tablo 3. 7.'den bakıldığında bölgesel yanak aşınması olarak aşırı bir ilerleme görülmektedir. Bunun sebebi, deney tasarımında kullanılan kesme parametrelerinden, dik kesme derinliğinin değerlerinin 0,3 mm ve 0,5 mm olmasıdır. Bu kesme derinliğinde, takımın yan kesme kenarlarında kesme işlemi gerçekleşmemektedir. Kesme işleminin gerçekleştiği bölge, 1 mm köşe radyüsüne sahip, takımın köşesi ve takımın alt kesme kenarı ile sınırlı kalmaktadır.

Takım – talaş ara yüzeyinde basamaklı yüz aşınması, deneyler sonucunda ağırlıklı olarak ortaya çıkan takım bozulma durumudur. Yine dik kesme derinliğinin değerlerinden dolayı bu takım bozukluk durumları, kesici takımın alt kesme kenarında ve köşesinde gerçekleşmiştir. Takım talaş – ara yüzeyindeki bölgesel yüzey aşınması, deney tasarımı 2'deki 1. deneyin yapılmasıyla belirgin bir şekilde meydana gelmiştir. Diğer deneylerin gerçekleştirilmesinden sonra takım kesme kenarında medya gelen basamaklı yüzey aşınmaları incelendiğinde, ilk deneyden sonra gerçekleşen aşınma durumundan çok az farklı bir aşınma durumunun gerçekleştiği görülmektedir. Deney 1 ve 8'in gerçekleştirilmesinden sonra takım – talaş ara yüzeyinde oluşan basamaklı yüz aşınmalarına Şekil 3.20'deki resimlerden bakıldığında, aşınma miktarında önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.

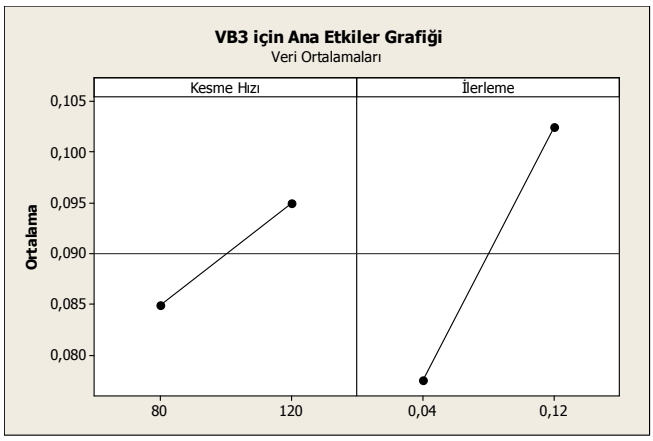


a **b**

Şekil 3.20. Titanyum'un, takım–1 ile işlenmesinde, 1. deney sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (a), 8. deney sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (b) .

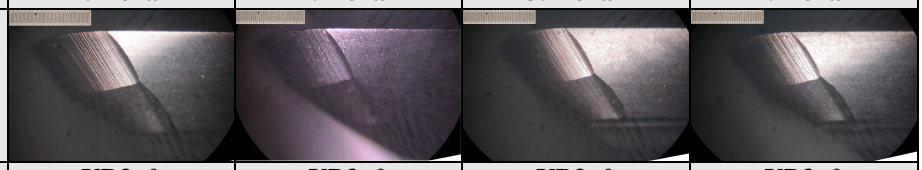
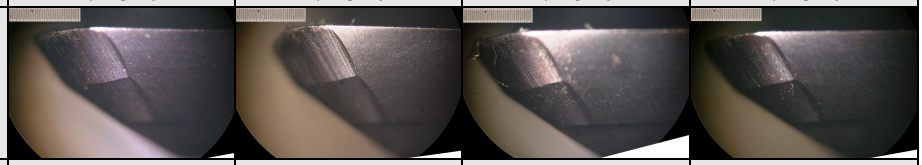
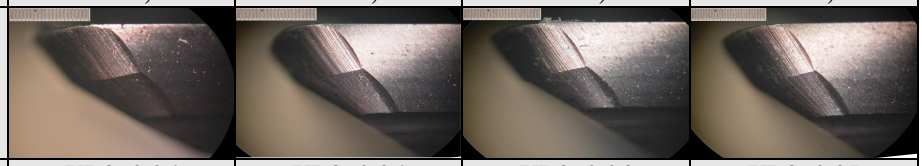
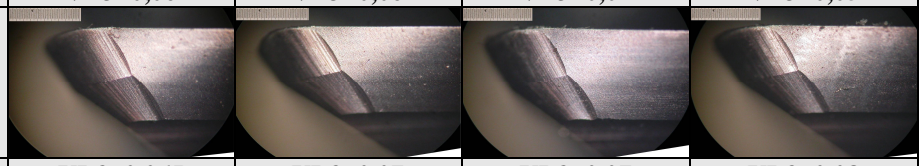
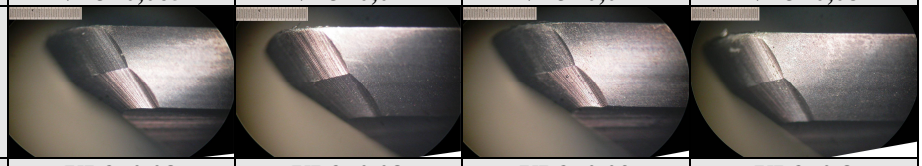
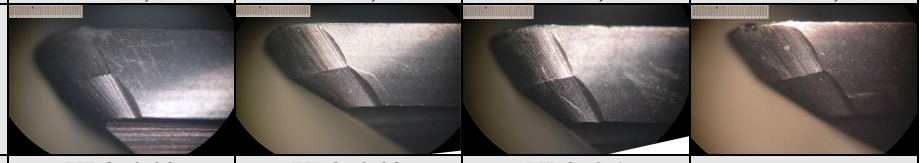
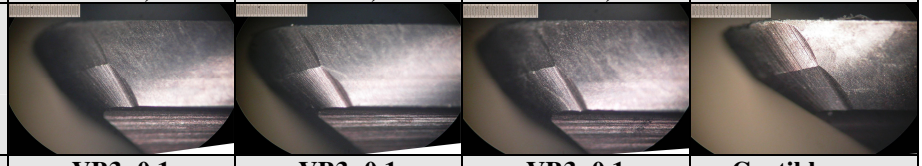
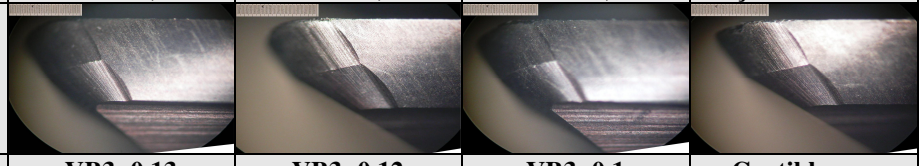
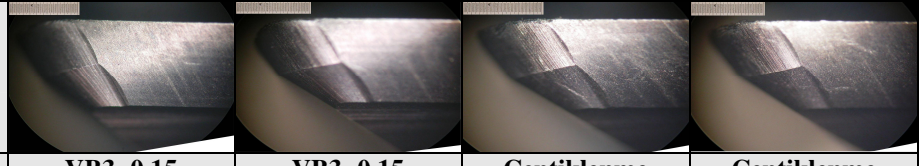
Deneyler sonucunda basamaklı yüz aşınmalarının önemli bir farklılık göstermemesinin sebebi olarak deneylerde kaplamalı karbür takımların kullanılması gösterilebilir. Çünkü titanyumun ısıl iletkenliğinin süper alaşımlarda olduğu gibi düşük olmasından dolayı, oluşan ısının çoğunluğu takım üzerinde kalmaktadır. Bu ısınında etkisi ile kimyasal reaksiyon eğilimleri yüksek olan kaplamalı takımlar, kimyasal reaktifliği yüksek olan titanyum ile reaksiyona girerek, iş parçasının takıma yapışmasında daha etkili olmaktadırlar. Bunun neticesinde de takım kaplaması, takım yüzeyinden kolaylıkla kopmaktadır.

Takım aşınması üzerinde ilerlemenin ve kesme hızının etkisi Şekil 3. 21.'de görülmektedir.

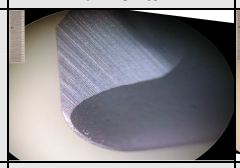
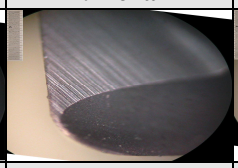
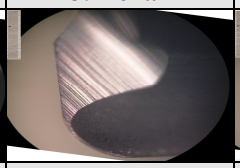
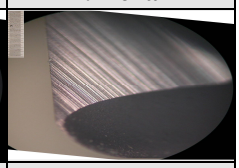
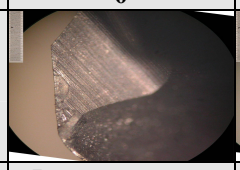
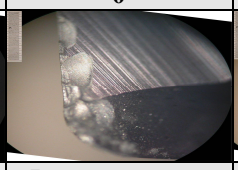
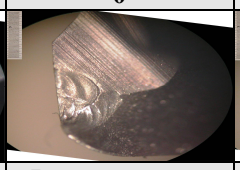
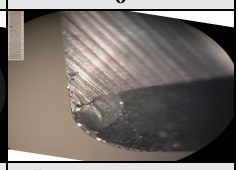
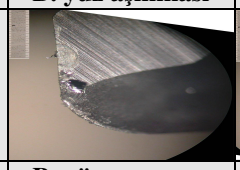
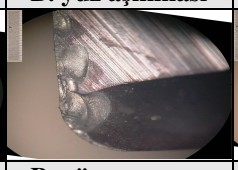
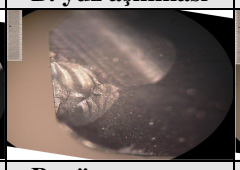
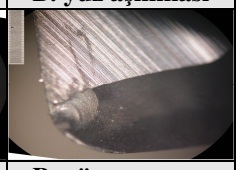
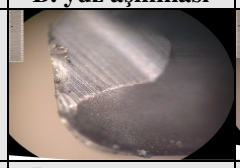
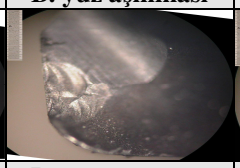
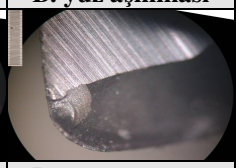
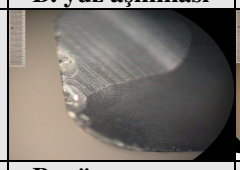
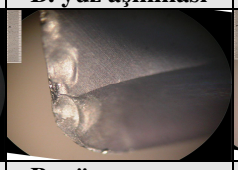
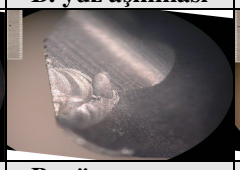
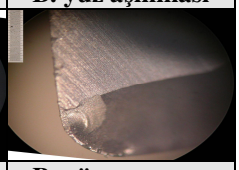
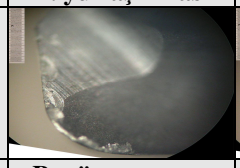
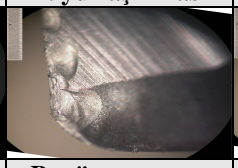
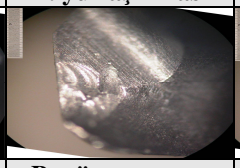
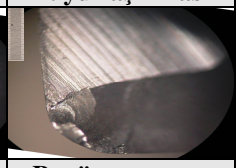
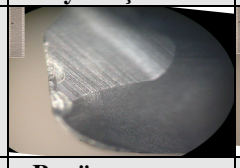
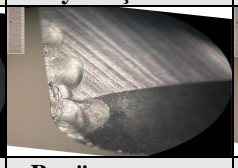
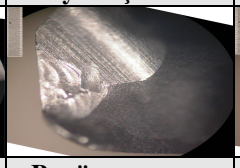
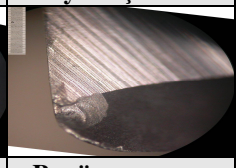
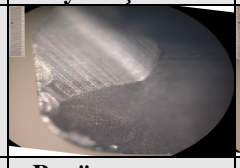
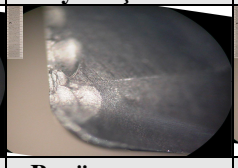
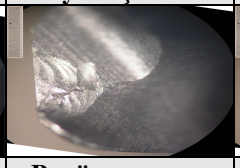
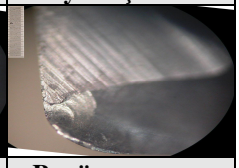
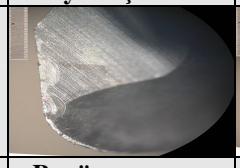
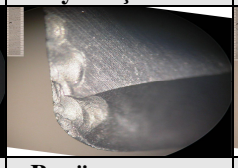
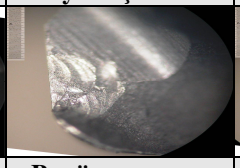
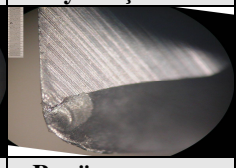


Şekil 3.21. Deney tasarımı 2'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

Tablo 3.7. Titanyum'un takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	VB3=0	VB3=0	VB3=0	VB3=0
Deney 1				
Aşınma	VB3=0,04	VB3=0,05	VB3=0,03	VB3=0,03
Deney 2				
Aşınma	VB3=0,06	VB3=0,06	VB3=0,04	VB3=0,05
Deney 3				
Aşınma	VB3=0,065	VB3=0,07	VB3=0,07	VB3=0,08
Deney 4				
Aşınma	VB3=0,08	VB3=0,08	VB3=0,09	VB3=0,8
Deney 5				
Aşınma	VB3=0,09	VB3=0,09	VB3=0,1	VB3=0,09-çentiklenme
Deney 6				
Aşınma	VB3=0,1	VB3=0,1	VB3=0,1	Çentiklenme
Deney 7				
Aşınma	VB3=0,13	VB3=0,12	VB3=0,1	Çentiklenme
Deney 8				
Aşınma	VB3=0,15	VB3=0,15	Çentiklenme	Çentiklenme

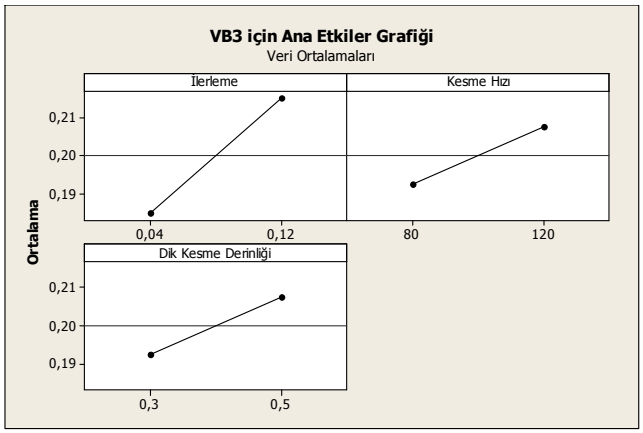
Tablo 3.8. Titanyum'un takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	**0**	**0**	**0**	**0**
Deney 1				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 2				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 3				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 4				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 5				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 6				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 7				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 8				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**

3. 2. 3. Deney Tasarımı 3 için Sonuçlar ve Analizler

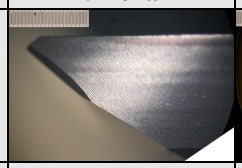
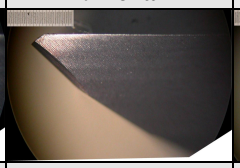
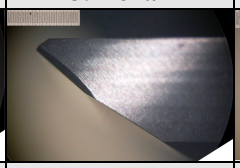
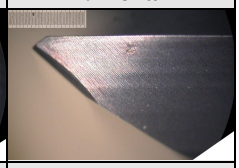
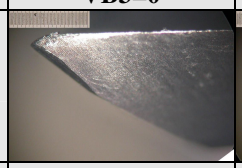
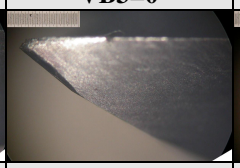
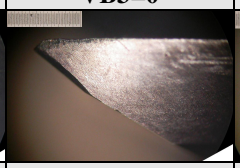
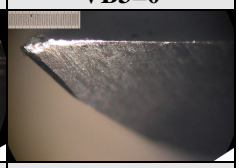
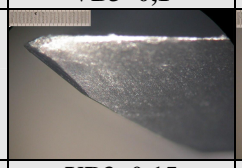
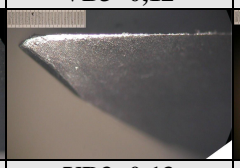
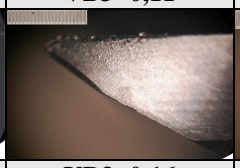
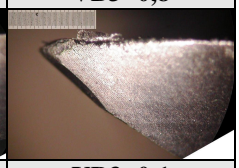
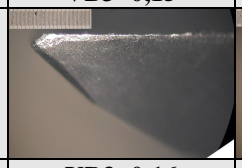
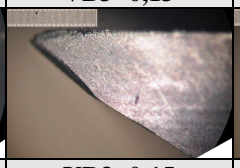
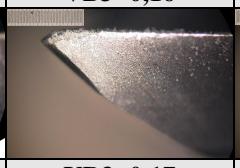
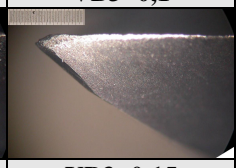
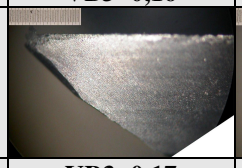
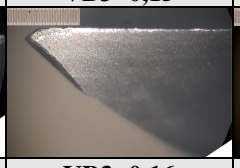
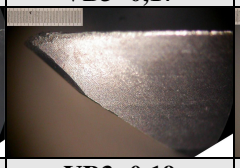
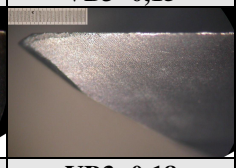
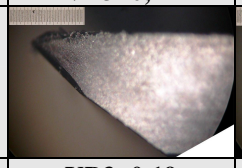
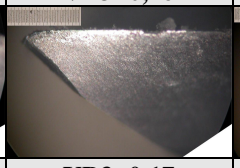
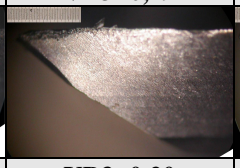
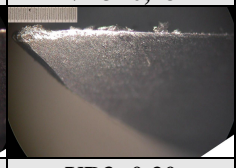
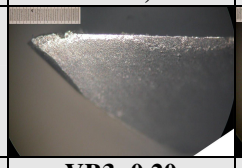
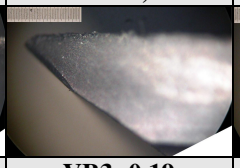
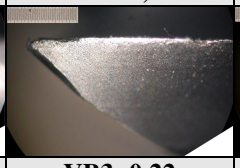
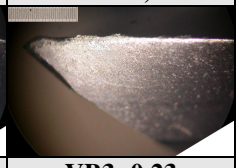
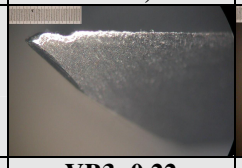
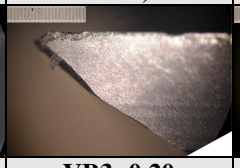
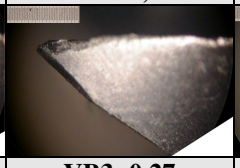
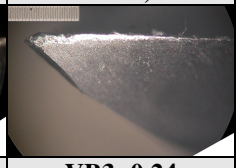
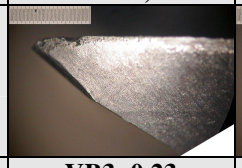
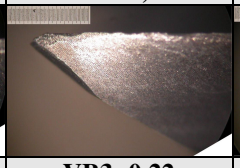
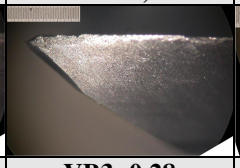
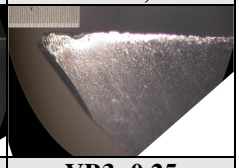
Titanyum iş parçasının takım–2 ile işlenmesi sonucunda takımın iş parçası - takım ara yüzeyi ve takım - talaş ara yüzeyine ait kenarlarında oluşan takım bozukluk mekanizmalarına ait optik mikroskopta çekilmiş fotoğraflar Tablo 3.7. ve 3.8.'de verilmektedir.

Tablo 3.9.'dan takım kesme kenarları üzerindeki takım bozulma durumları incelediğinde, iş parçası - takım ara yüzeyinde yanak aşınmasının tüm deneyler boyunca düzenli bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Yanak aşınmasının düzenli bir şekilde ilerlemesinden dolayı, takım ömrü kriteri olarak bölgesel yanak aşınması her bir deney için kesici takımın her bir kenarından sayısal olarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen sekiz deney sonrasında en yüksek bölgesel yanak aşınması değeri (VB3) 0,28 mm tespit edilmiştir. Takım- talaş ara yüzeyinde herhangi bir aşınma durumu gözlemlenmemiştir (Tablo 3.10.). Kesme işlemlerinde kullanılan kesici takımın dört kesme kenarından en fazla takım aşınmasının gerçekleştiği kesme kenarındaki bölgesel yanak aşınması değerleri dikkate alınarak; kesme hızı, dik kesme derinliği ve ilerlemeye göre Şekil 3.22.'deki grafikler çizilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi dik kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızının artışı ile takım aşınması ilerlemektedir. Aşınma üzerinde en etkili faktör, ilerleme olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kesme parametrelerin değerlerinin yükselişi önceki bölümlerde bahsedilen nedenlerden kaynaklanan ısı oluşumudur. Büyük oranlarda açığa çıkan ısı takım aşınma direncini düşürmektedir.

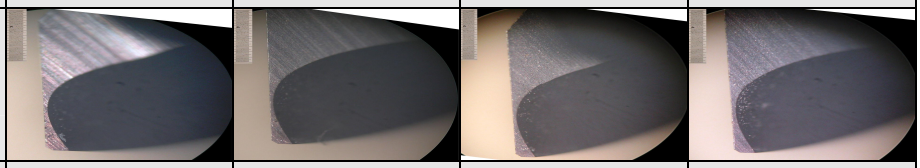
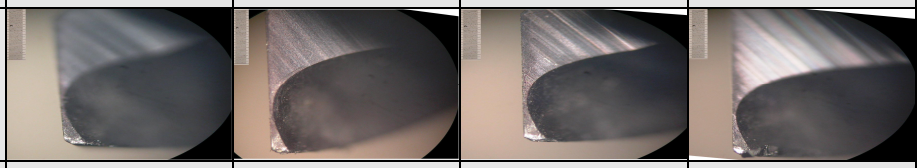
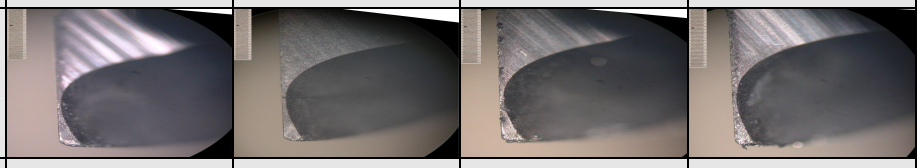
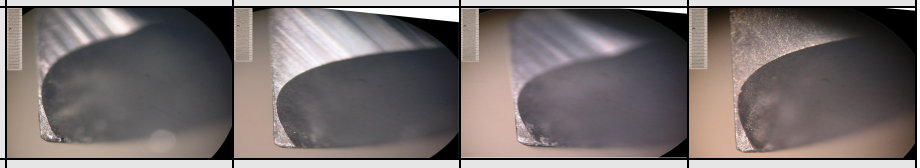
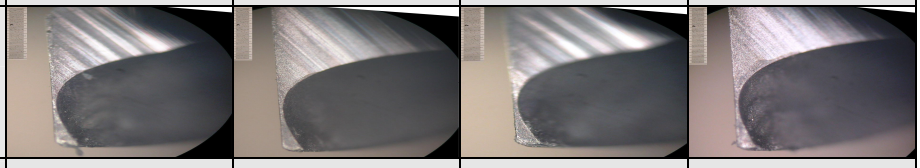
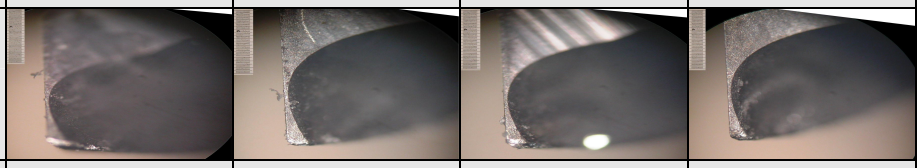
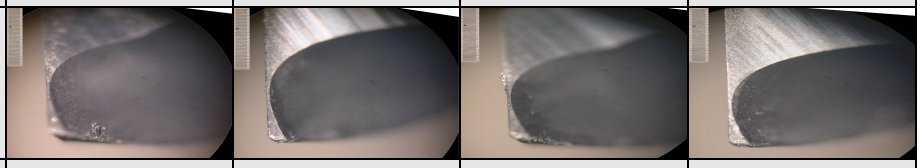
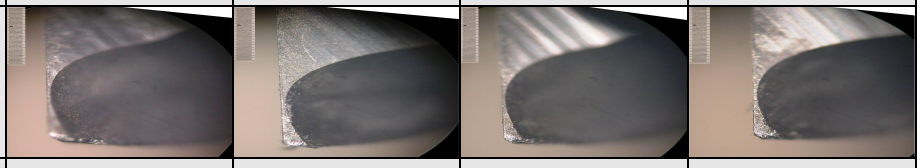
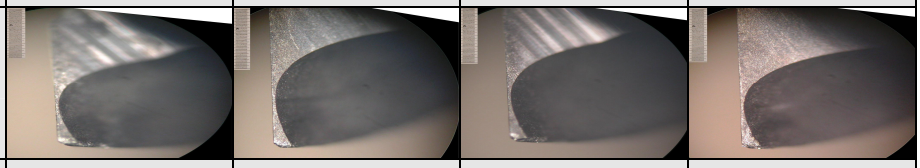


Şekil 3.22. Deney tasarımı 3'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

Tablo 3.9. Titanyum'un takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	**VB3=0**	**VB3=0**	**VB3=0**	**VB3=0**
Deney 1				
Aşınma	**VB3=0,1**	**VB3=0,12**	**VB3=0,11**	**VB3=0,8**
Deney 2				
Aşınma	**VB3=0,15**	**VB3=0,13**	**VB3=0,16**	**VB3=0,1**
Deney 3				
Aşınma	**VB3=0,16**	**VB3=0,15**	**VB3=0,17**	**VB3=0,15**
Deney 4				
Aşınma	**VB3=0,17**	**VB3=0,16**	**VB3=0,19**	**VB3=0,18**
Deney 5				
Aşınma	**VB3=0,19**	**VB3=0,17**	**VB3=0,20**	**VB3=0,20**
Deney 6				
Aşınma	**VB3=0,20**	**VB3=0,19**	**VB3=0,22**	**VB3=0,23**
Deney 7				
Aşınma	**VB3=0,22**	**VB3=0,20**	**VB3=0,27**	**VB3=0,24**
Deney 8				
Aşınma	**VB3=0,23**	**VB3=0,22**	**VB3=0,28**	**VB3=0,25**

Tablo 3.10. Titanyum'un takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	**2. Kenar**	**3. Kenar**	**4. Kenar**
Aşınmamış Takım				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 1				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 2				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 3				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 4				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 5				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 6				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 7				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 8				
Aşınma	-	-	-	-

3. 2. 4. Deney Tasarımı 4 için Sonuçlar ve Analizler

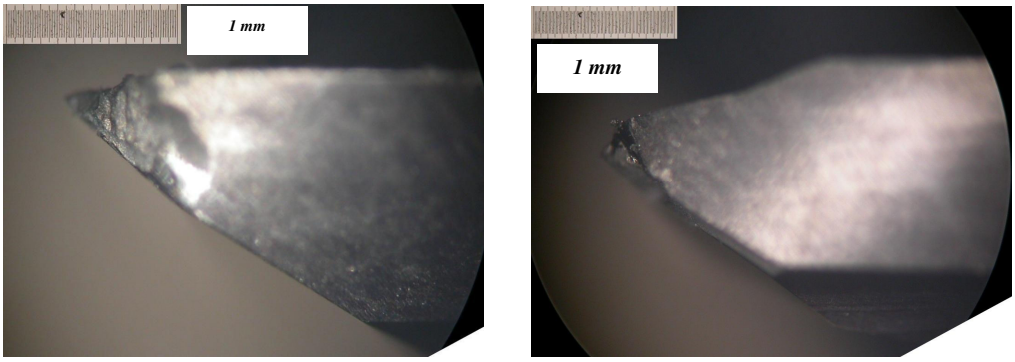
Inconel 718 iş parçasının takım–2 ile işlenmesi sonucunda takımın iş parçası-takım ara yüzeyi ve takım–talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmalarına ait optik mikroskopta çekilmiş fotoğraflar Tablo 3.11. ve 3.12.'de, verilmektedir. Bu deney tasarımında, iş parçasının işlenmesi sırasında iki yeni kesici takım kullanılmıştır. Deney tasarımının dördüncü deneyi yeni takım ile gerçekleştirilmiş ve kalan deneyler bu takım ile tamamlanmıştır.

Tablo 3.11.'den takım üzerindeki takım bozulma durumlarını incelediğimizde, takım ömrü kriteri olarak deneyler boyunca süreklilik arz eden bir takım aşınma tipi bulunmamaktadır. Takım üzerindeki aşınmalar hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. İş parçasının işlenmesinde kullanılan takım ile gerçekleştirilen ilk deneyler de bölgesel çentiklenme görülürken devam eden deneylerde takım kesme kenarlarında tam bozulma durumu görülmektedir. Ancak tam bozulama gerçekleştikten sonra takım kenarlarında ileri derecede kırılmalar olmamaktadır.

Şekil 3.23'de görülen takım bozulma durumları, takımın serbest yüzey kenarına ait ve deney tasarımının birinci ve ikinci deneyinden sonra gerçekleşmiştir. Resimlerden de görüldüğü gibi birinci deneyde takım kesme kenarında bölgesel çentiklenme gözükürken, ikinci deneyde takım kesme kenarında tam bozulma durumu gerçekleşmiştir. Takım aşınmasının ilk deney ile birlikte istenmeyen bir durum olan çentiklenme ile gerçekleşmesi, bu deney tasarımında kullanılan takım – 2'nin köşe radyüsünün sıfır olması ve Inconel 718 malzemesinin sertliği ile birlikte yüksek ısıl direncinden kaynaklanmaktadır. Takımın kesme kenarı, köşe radyüsünün sıfır olması nedeni ile frezeleme sırasında meydana gelen değişken yüklere takım üzerinde oluşan yüksek oranda ısının etkisi ile birlikte direnç gösterememiştir.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, takımın kesme kenarlarında düzenli bir takım bozulma durumunun gerçekleşmemesinin sebebi de kesme kuvvetlerinin ve bunun sonucunda oluşan ısının etkisidir. Çünkü iş parçası olarak kullandığımız Inconel 718, yüksek sıcaklık çelikleri arasında bulunan bir iş parçasıdır. Inconel 718 malzemesin düşük ısıl özelliklerinden ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruma

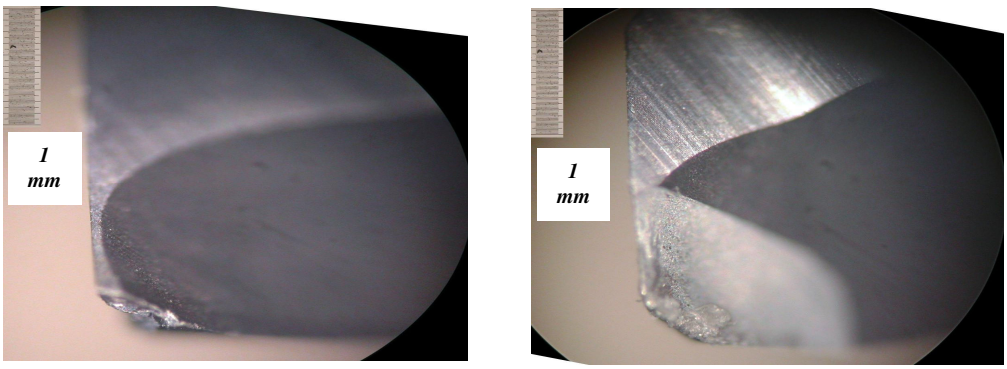
özelliğinden dolayı, kesme sırasında önemli ısı üretimi olmakta ve bu ısı takım üzerine aktarılmaktadır. Bu da takımın aşınma direncini düşürmekte ve takım üzerinde ani bozukluklara sebep olmaktadır.



(a) **(b)**

Şekil 3.23. Deney tasarımı 4'de gerçekleştirilen 1.deney sonrası takım kesme kenarında meydana gelen çentiklenme (a), 2. deney sonrası takım kesme kenarında gerçekleşen tam bozulma durumu.

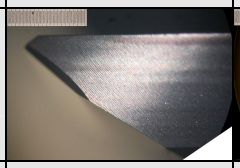
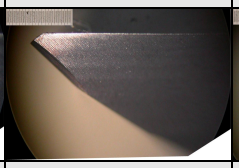
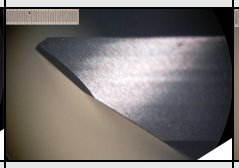
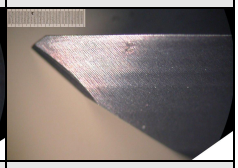
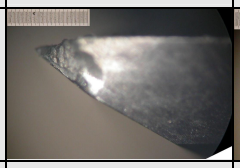
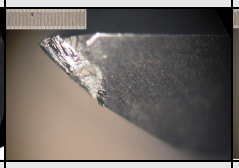
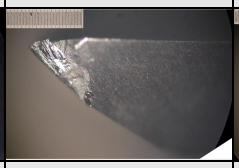
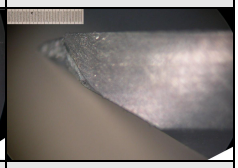
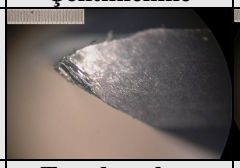
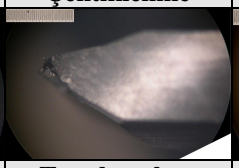
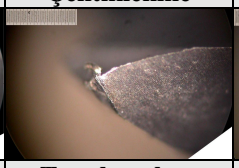
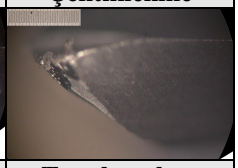
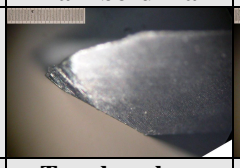
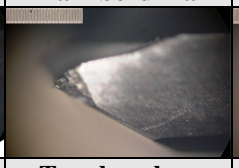
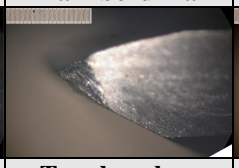
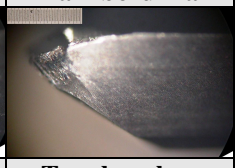
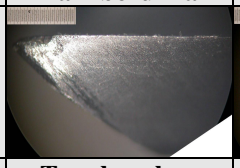
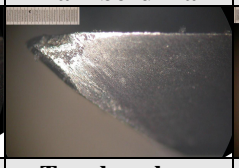
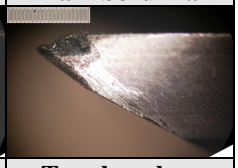
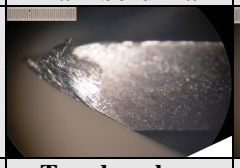
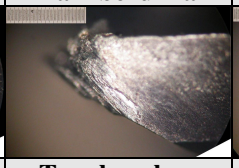
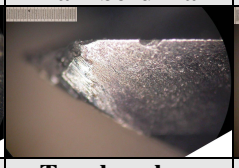
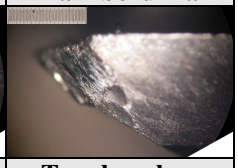
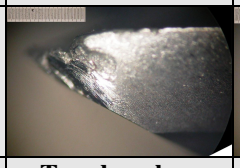
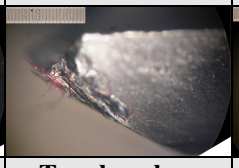
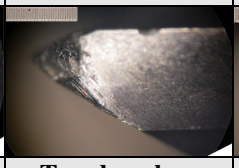
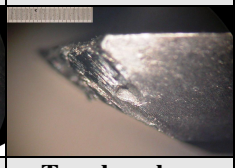
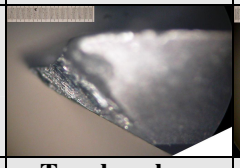
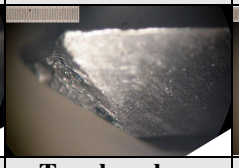
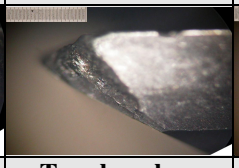
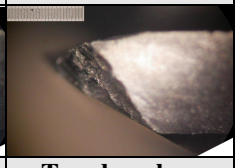
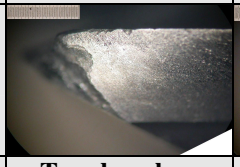
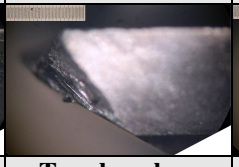
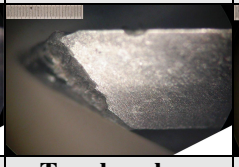
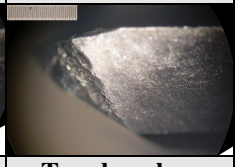
Takım–talaş ara yüzeyinde gerçekleşen aşınma mekanizmalarına Tablo 3.12.'den baktığımızda, bu yüzeyde basamaklı yüz aşınmasının gerçekleştiği görülmektedir. Bu yüzeyde de kesici takımın, takım–iş parçası ara yüzeyinde olduğu gibi aşınmamış takımların ilk kullanımında Şekil 3. 24.'den görüleceği üzere, düşük değerde aşınma gerçekleşir iken, bir sonraki deneyde, aşınmada aşırı derecede ilerleme meydana gelmekte ve aşınma deneylerin sonuna kadar fazla ilerlemeden devam etmektedir. Basamaklı yüzey aşınmasının aşırı ilerlemesine, takımın kesme kenarından kopan parçaların, takım-talaş yüzeyinden de malzeme koparak ayrılmasının etkisi olduğu söylenebilir.



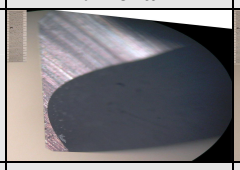
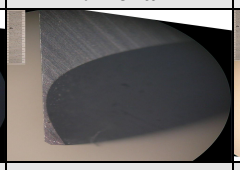
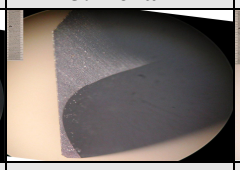
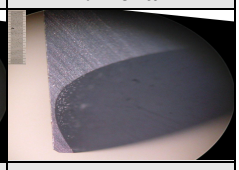
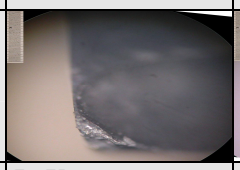
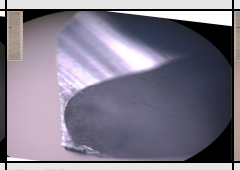
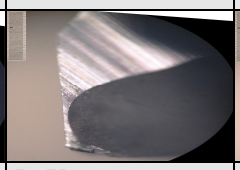
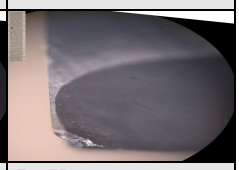
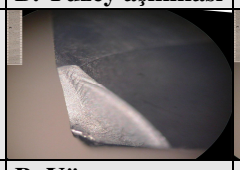
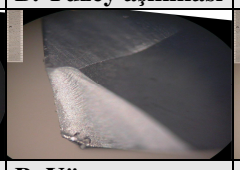
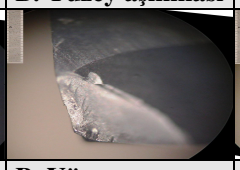
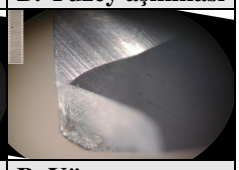
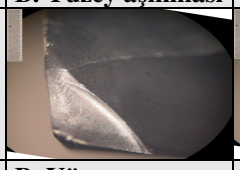
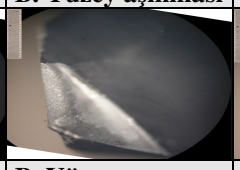
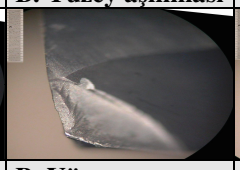
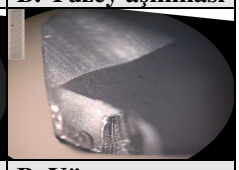
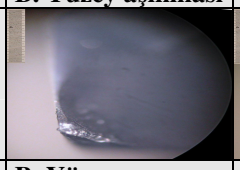
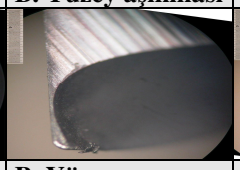
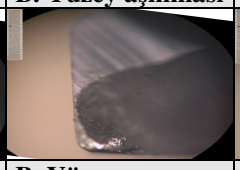
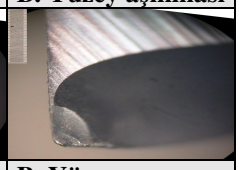
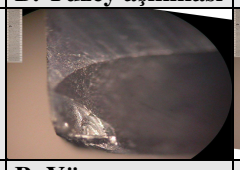
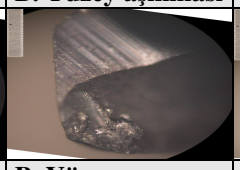
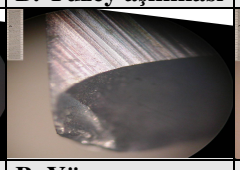
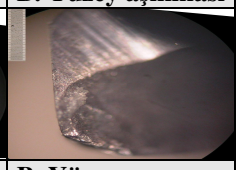
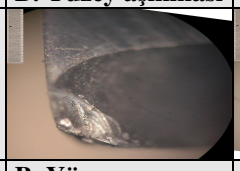
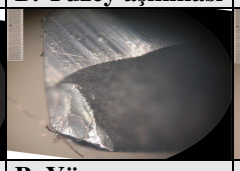
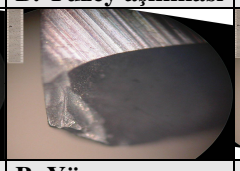
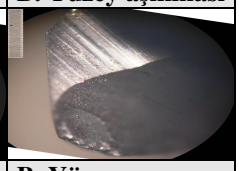
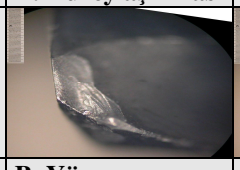
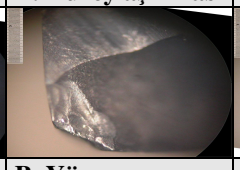
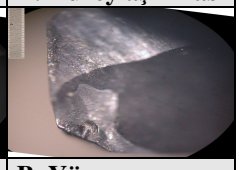
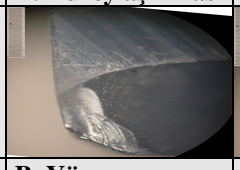
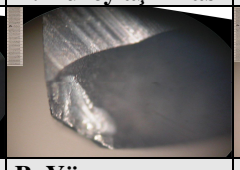
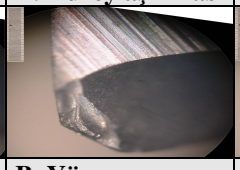
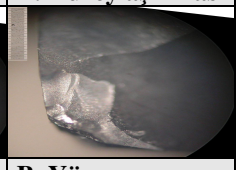
(a) **(b)**

Şekil 3.24. Deney tasarımı 4'de gerçekleştirilen 1.deney sonrası oluşan basamaklı yüz aşınması (a), 2. deney sonrası gerçekleşen basamaklı yüz aşınması.

Tablo 3.11. Inconel'in takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 1				
Aşınma	Çentiklenme	Çentiklenme	Çentiklenme	Çentiklenme
Deney 2				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 3				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 4				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 5				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 6				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 7				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma
Deney 8				
Aşınma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma	Tam bozulma

Tablo 3.12. Inconel'in takım–2 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

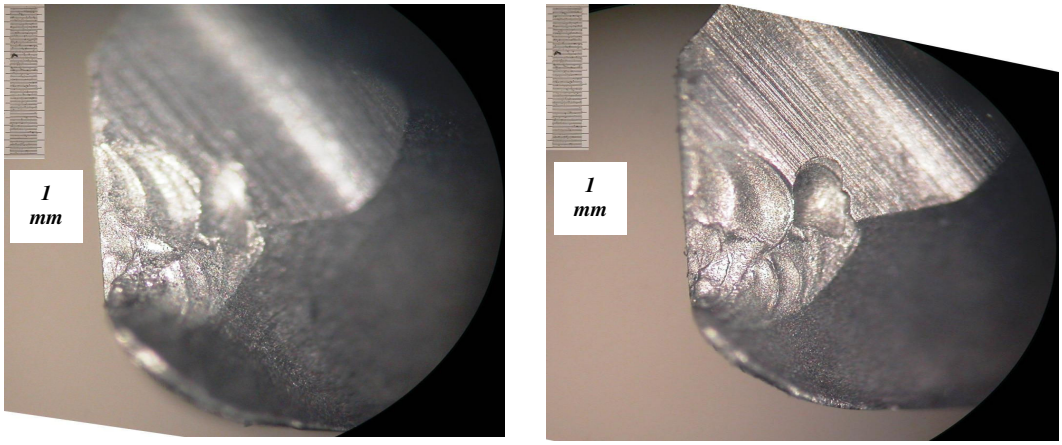
	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma	-	-	-	-
Deney 1				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 2				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 3				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 4				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 5				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 6				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 7				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**
Deney 8				
Aşınma	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**	**B. Yüzey aşınması**

3. 2. 5. Deney Tasarımı 5 için Sonuçlar ve Analizler

Titanyum iş parçasının deney tasarımı 2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi sonucunda, takımın iş parçası-takım ara yüzeyi ve takım-talaş ara yüzeyine, ait kenarlarında oluşan takım bozukluk mekanizmalarına ait optik mikroskopta çekilmiş fotoğraflar Tablo 3.13. ve 3.14.'de verilmektedir.

Tablo 3.13.'den takım kesme kenarları üzerindeki takım bozulma durumları incelediğinde, iş parçası-takım ara yüzeyinde yanak aşınmasının tüm deneyler boyunca düzenli bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Yanak aşınmasının düzenli bir şekilde ilerlemesinden dolayı, takım ömrü kriteri olarak bölgesel yanak aşınması her bir deney için kesici takımın her bir kenarından sayısal olarak tespit edilmiştir. Bölgesel yanak aşınması sonuçlarına Tablo 3.13.'den bakıldığında, bölgesel yanak aşınması olarak takım ömrü kriterini bir anda geçecek aşırı bir ilerleme görülmemektedir. Bunun sebebi, deney tasarımında kullanılan kesme parametrelerinden dik kesme derinliğinin değerlerinin 0,3 mm ve 0,5 mm olmasıdır. Bu kesme derinliğinde, takımın yan kesme kenarlarında, kesme işlemi gerçekleşmemektedir. Kesme işleminin gerçekleştiği bölge, 1 mm köşe radyüsüne sahip takımın köşesi ve takımın alt kesme kenarı ile sınırlı kalmaktadır.

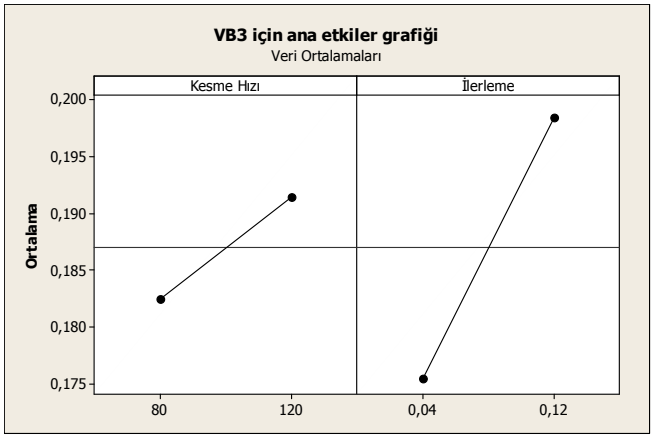
Takım–talaş ara yüzeyinde ise basamaklı yüz aşınması, deneyler sonucunda ağırlıklı olarak ortaya çıkan takım bozulma durumudur. Yine dik kesme derinliğinin değerlerinden dolayı bu takım bozukluk durumları, kesici takımın alt kesme kenarında ve köşesinde gerçekleşmiştir. Takım talaş–ara yüzeyindeki bölgesel yüzey aşınması, deney tasarımı 2'deki 1. deneyin yapılmasıyla belirgin bir şekilde meydana gelmiştir. Diğer deneylerin gerçekleştirilmesinden sonra takım kesme kenarında meydana gelen basamaklı yüzey aşınmaları incelendiğinde, ilk deneyden sonra gerçekleşen aşınma durumundan çok az farklı bir aşınma durumunun gerçekleştiği görülmektedir. Deney tasarımı 2'nin birinci deneyinin ve deney tasarımı 5'in 8. deneyinin gerçekleştirilmesinden sonra, takım – talaş ara yüzeyinde oluşan basamaklı yüz aşınmalarına Şekil 3.25'deki resimlerden bakıldığında aşınma miktarında önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.



a **b**

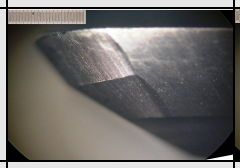
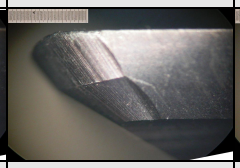
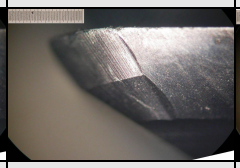
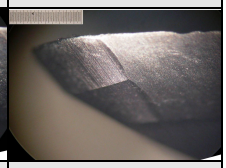
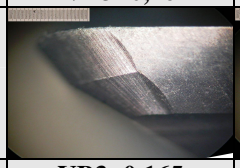
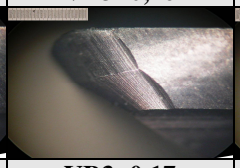
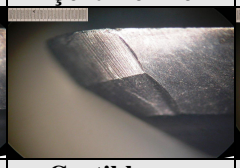
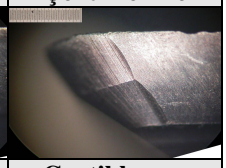
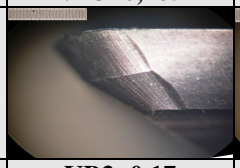
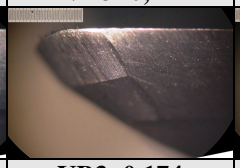
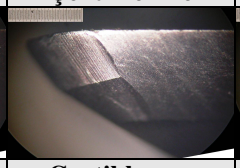
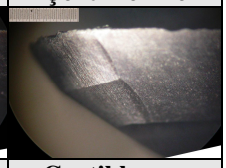
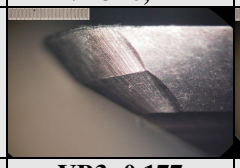
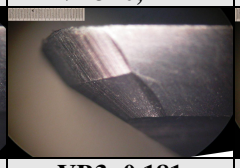
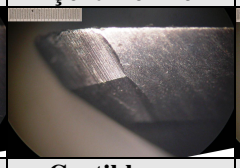
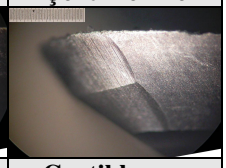
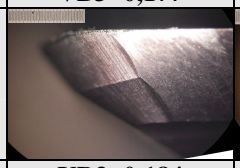
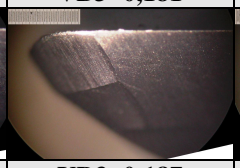
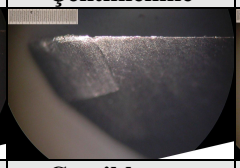
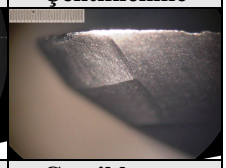
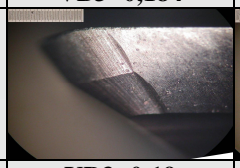
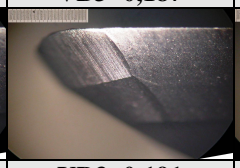
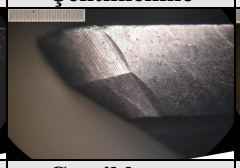
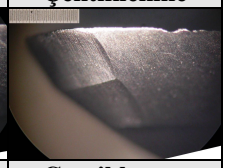
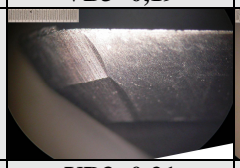
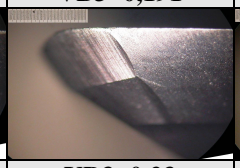
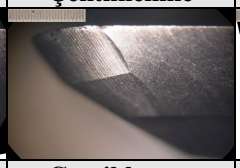
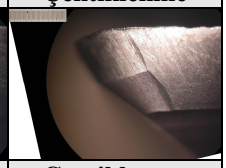
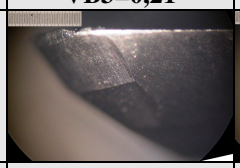
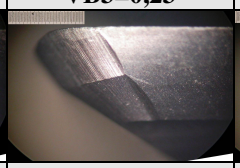
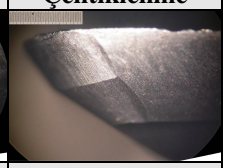
Şekil 3.25. Titanyum'un takım – 1 ile işlenmesinde, deney tasarımı 1'in 1. deneyi sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (a), deney tasarımı 5'in 8. deneyi sonrasında oluşan basamaklı yüz aşınması (b) .

Deneyler sonucunda basamaklı yüz aşınmalarının önemli bir farklılık göstermemesinin sebebi olarak, deneylerde kaplamalı karbür takımların kullanılması gösterilebilir. Çünkü titanyumun ısıl iletkenliğinin süper alaşımlarda olduğu gibi düşük olmasından dolayı, oluşan ısının çoğunluğu takım üzerinde kalmaktadır. Bu ısınında etkisi ile kimyasal reaksiyon eğilimleri yüksek olan kaplamalı takımlar, kimyasal reaktifliği yüksek olan titanyum ile reaksiyona girerek, iş parçasının takıma yapışmasında daha etkili olmaktadırlar. Bunun neticesinde de takım kaplaması, takım yüzeyinden kolaylıkla kopmaktadır. Takım aşınması üzerinde ilerlemenin ve kesme hızının etkisi Şekil 3.26.'da görülmektedir.

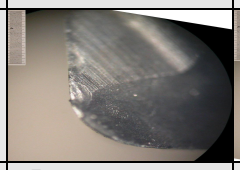
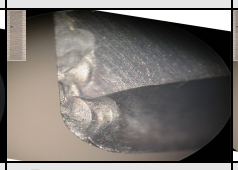
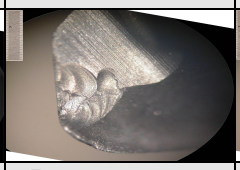
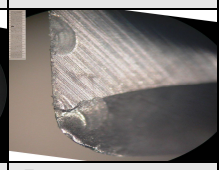
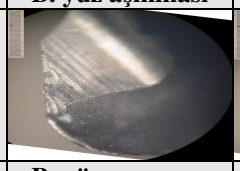
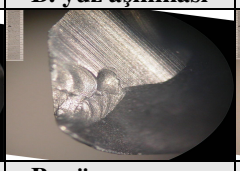
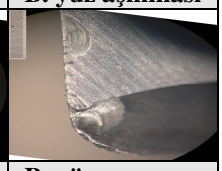
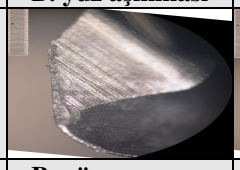
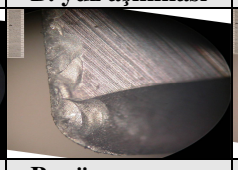
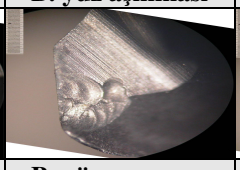
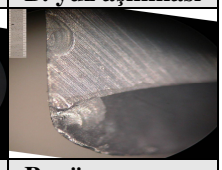
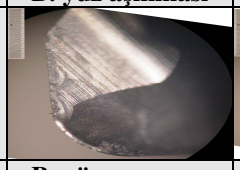
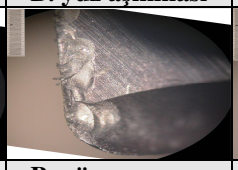
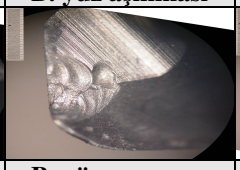
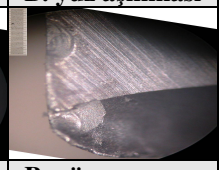
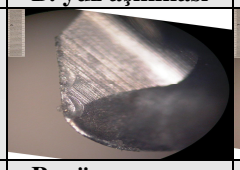
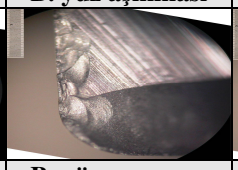
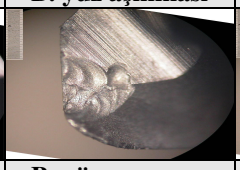
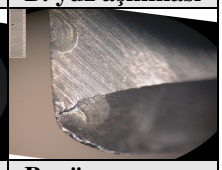
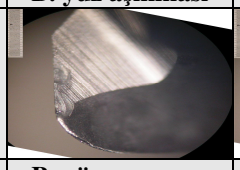
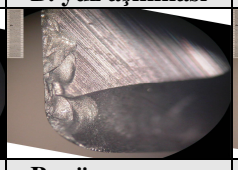
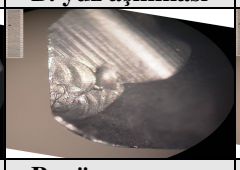
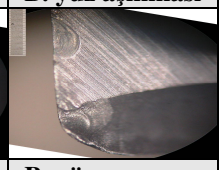
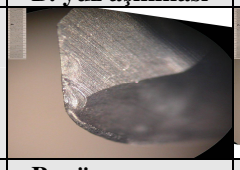
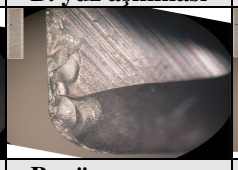
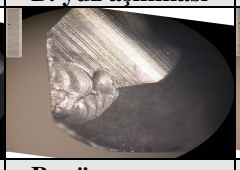
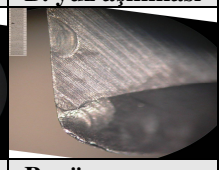
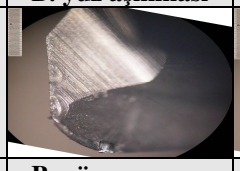
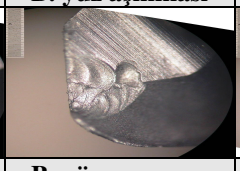
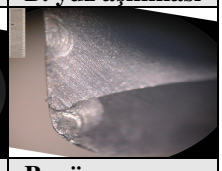


Şekil 3.26. Deney tasarımı 5'de, bölgesel yanak aşınması üzerinde kesme parametrelerinin etkisi.

Tablo 3.13. Titanyum'un deney tasarımı–2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın iş parçası-takım ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	**2. Kenar**	**3. Kenar**	**4. Kenar**
Aşınmamış Takım				
Aşınma				
Deney 1				
Aşınma	**VB3=0,16**	**VB3=0,16**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 2				
Aşınma	**VB3=0,165**	**VB3=0,17**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 3				
Aşınma	**VB3=0,17**	**VB3=0,174**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 4				
Aşınma	**VB3=0,177**	**VB3=0,181**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 5				
Aşınma	**VB3=0,184**	**VB3=0,187**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 6				
Aşınma	**VB3=0,19**	**VB3=0,191**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 7				
Aşınma	**VB3=0,21**	**VB3=0,23**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**
Deney 8				
Aşınma	**VB3=0,24**	**VB3=0,23**	**Çentiklenme**	**Çentiklenme**

Tablo 3.14. Titanyum'un deney tasarımı-2 de kullanılan takım–1 ile işlenmesi sonucu takımın takım-talaş ara yüzeyi kenarlarında oluşan bozukluk mekanizmaları ölçüleri.

	1. Kenar	2. Kenar	3. Kenar	4. Kenar
Aşınmamış Takım				
Aşınma				
Deney 1				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 2				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 3				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 4				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 5				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 6				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 7				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**
Deney 8				
Aşınma	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**	**B. yüz aşınması**

3. 3. Sonuçlar

Bu çalışmada, krom–nikel süper alaşımı Inconel 718 ve titanyum malzemelerinin yekpare karbür parmak freze takımlarla yüzey frezeleme yöntemi ile talaşlı olarak işlenmesi sonucu, iş parçası yüzeylerinde meydana gelen yüzey pürüzlülükleri ve kesici takımların kesme kenarlarında meydana gelen takım bozukluk durumları deneysel olarak ölçülmüştür. Deneysel olarak ölçülen verilerin incelenmesi sonucunda, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması hakkında çıkarabilecek sonuçlar çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, kesme parametreleri ve kesme işleminde kullanılan takımların geometrik özellikleri dikkate alınarak aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen deneylerin sonucunda, nikel–krom süper alaşımı malzemesinin talaşlı olarak işlenmesinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri, titanyum malzemesinin talaşlı olarak işlenmesinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerinden az da olsa küçük çıkmıştır. Her iki malzemenin de köşe radyüsü 1mm olan takım ile işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, köşe radyüsü sıfır olan takım ile işleme sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden küçüktür. Her iki malzeme ve takım ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesme parametreleri; kesme hızının, ilerlemenin ve kesme derinliklerinin küçük değerlerinde düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda oluşan, takım bozukluk durumlarının incelenmesi sonucunda, en fazla kesici takım aşınmasının, köşe radyüsü sıfır olan takımda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Titanyum malzemesinin işlenmesi sırasında her iki takım içinde, takımların iş – parçası ara yüzeyi kesme kenarlarında meydana gelen takım bozukluk durumu, bölgesel yanak aşınması şeklinde oluşmuştur. Köşe radyüsü 1 mm olan kesici takım ile titanyumun işlenmesinde, takım–talaş ara yüzeyinde basamaklı yüz aşınması takım kaplamasının ilk deney ile beraber takım üzerinden kalkması sonucunda meydana gelmiş ve deneylerin sonuna kadar aşınma miktarında fazla farklılık olmadan devam etmiştir. Inconel 718 malzemesinin işlenmesinde ise takımların kesme kenarlarında takım bozukluk durumu olarak çentiklenme ve tam bozulma durumları meydana gelmiştir. Çentiklenme, deneylerin başlangıcında ilk olarak ortaya çıkan aşınma tipi olarak dikkat çekmektedir.

3. 4. Öneriler

Krom–nikel süper alaşımlarının ve titanyum alaşımlarının yüzey frezeleme yöntemi ile talaşlı olarak işlenmesinde meydana gelen kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, kesme parametrelerine bağlı olarak takım üzerinde oluşan aşınmaların nasıl değiştiğinin açıklanmasına daha faydalı olabilir.

Krom–nikel süper alaşımlarının ve titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinden dolayı, bu malzemelerin talaşlı olarak işlenmesi esnasında meydana gelen sıcaklık oluşumu ve kesici takım aşınmasına etkileri araştırılmalıdır.

Krom–nikel süper alaşımlarının ve titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda daha yüksek aşınma direncine sahip CBN ve seramik takımlar ile işlenerek, bu çalışmalar sonucunda meydana gelen takım aşınma durumlarının ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, kaplamalı karbür takımlar ile elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılması, kesici takım performanslarını değerlendirmek açısından daha faydalı olabilir.

İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda, Krom–nikel süper alaşımlarının ve titanyum alaşımlarının işlenmesinde insert uçlar kullanılabilir. İnsert uç kullanımı ile kesici ağız sayısında değişikler yapılarak, kesici ağız sayısının kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Ayrıca insert uçlu takımlar ile yekpare parmak freze takımlar arasındaki kesme performansı farkı incelenebilir.

Titanyum ve Krom–nikel süper alaşımlarının değişik soğutma şartları altında işlenmesi sonucunda ortaya çıkan kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri araştırılabilir. Çünkü kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıkların malzemeye olumlu etki sağlamadığı bilindiği için özellikle takım üzerinde oluşan aşınmaların davranışlarının tespiti için gereklidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Akkurt Mustafa. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları. Birsen Yayınevi (2004).

2. Alauddin M., Mazid M.A., El Baradi M. A., Hashmi M. S. J. Cutting forces in the end milling of Inconel 718. Journal of Materials Proccesing Technology 77 (1998) 153–159.

3. Arunachalam R. M., Mannan M. A., Spowage A.C.. Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and ceramic cutting tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 879–887.

4. Aslan E. Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC). Materials and Design 26 (2005) 21–27.

5. Akmandor İbrahim Sinan, Erdem Mümtaz Salih. Uçak motoru ve elektrojen gruplarındaki gaz türbini teknolojisindeki ilerlemeler, malzeme, yüzey teknolojileri ve imalat süreçlerindeki gelişmeler (Bölüm 1). Mühendis ve Makina, Ocak 2004-Sayı 528

6. Altınışık Remzi, Bayraktaroğlu Serkan, Coşkun Recai, Yıldırım Engin. Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPPS Uygulamalı. Şubat (2004).

7. Askeland Donald R.. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt-1. Nobel Yayın Dağım (1998).

8. Bargel H. J., Schulze G. Malzeme Bilgisi Cilt-2. MBEAE Matbaası, Gebze.

9. Budak E.. Analytical models for high performance milling Part I: Cutting forces, structural deformations and tolerance integrity. International Journal of Machine Tools & Manufacture 46(12-18) 1478/488 Oct. 2006.

10. Dudzinski D., Devillez A., Moufki A., Larrouque`re D., Zerrouki V., Vigneau J. A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy. International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 439–456.

11. Ezugwu E. O., Bonney J., Yamane Y. An overview of machinability of aeroengine alloys. Journal of Materials Processing Technology 134 (2003) 233–253.

12. Ensarioğlu Cihat, Çakır M. Cemal. Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 2. Bölüm. Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 547 (2005).

13. Ensarioğlu Cihat, Çakır M. Cemal. Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 1. Bölüm. Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 546 (2005).

14. Fallböhmer P., Rodrıguez C. A., Özel T., Altan T. High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing. Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 104–115.

15. Gülmez Servet. Bor Alaşımlı Çeliklerin Alın Frezelenmesinde Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (2003).

16. Ginting A., Nouari M. Experimental and numerical studies on the performance of alloyed carbide tool in dry milling of aerospace material. International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 758–768.

17. Ghani J. A., Choudhury A., Masjuki H. H. Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed. Journal of Materials Processing Technology 153–154 (2004) 1062–1066.

18. Iqbal Asif, Ning He, Liang Li, Dar Naeem Ullah. A fuzzy expert system for optimizing parameters and predicting performance measures in hard-milling process. Expert Systems with Applications xxx (2006) xxx–xxx.

19. Wang J. J. Junz, Zheng M. Y. On the machining characteristics of H13 tool steel in different hardness states in ball end milling. Int J Adv Manuf Technol (2003) 22: 855–863.

20. Jawaid A., Köksal S., Saharif S. Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy. Journal of Proccesing Technology 116 (2001) 2–9.

21. Jawaid A., Sharif S., Koksal S. Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. Journal of Materials Processing Technology 99 (2000) 266–274.

22. Kurt Ali Osman. Malzemelerin Yüksek Sıcaklık Davranışları. Ders Notu, www.sakarya.edu.tr/aokurt.

23. Krajnik P., Kopac J. Modern machining of die and mold tools. Journal of Materials Processing Technology 157–158 (2004) 543–552.

24. Kuo Chun-Pao, Ling Cheng-Chang, Chen Shao-Hsien, Chang Chih-Wei. The prediction of cutting force in milling Inconel–718. Int J Adv Manuf Technol (2006) 27: 655–660.

25. Lacalle L. N. Lopez de, Perez J., Llorente J. I., Sanchez J.A. Advanced cutting conditions for the milling of aeronautical alloys. Journal of Materials Processing Technology 100 (2000) 1–11.

26. Liu X. W., Cheng K., Webb D., Luo X. C. Prediction of cutting force distribution and its influence on dimensional accuracy in peripheral milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 791–800.

27. Mantle A. L., Aspinwall D. K. Surface integrity of a high speed milled gamma titanium aluminide. Journal of Materials Processing Technology 118 (2001) 143–150.

28. Muammer Nalbant, Abdullah Altın, Hasan Gökkaya. The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys. Materials and Design xxx (2006) xxx–xxx

29. M. Nouari, A. Ginting. Wear characteristics and performance of multi-layer CVD-coated alloyed carbide tool in dry end milling of titanium alloy. Surface & Coatings Technology 200 (2006) 5663 – 5676.

30. Özçelik Babür, Öktem Hasan, Kurtaran Hasan. Optimum surface roughness in end milling Inconel 718 by coupling neural network model genetic algorithm. Int. J. Adv. Manuf. Technol. (2005) 27: 234–241 DOI 10.1007/s00170–004–2175–7.

31. Özel Tuğrul, Altan Taylan. Process simulation using finite element method - prediction of cutting forces, tool stresses and temperatures in highspeed flat end milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 (2000) 713–738.

32. Öktem Hasan. CNC tezgâhlarda 3 ve 5 eksende işlenen yüzeylerin pürüzlülüğünün yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesi. G. Y. T. E. Y. Lisans Tezi (2004).

33. Özdemir Ufuk, Erten Muzaffer. Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarlarını Azaltma Yöntemleri. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak 2003 Cilt1 Sayı1 (37–50).

34. Pasinli Ahmet. Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2004 (4) 25–34.

35. Russell Morgan G. Process Development Through Simulation. Sikorsky Aircraft Corporation, Stratford CT.

36. Rahman M., Kumar A. Senthil, Manzoor-Ul-Salam and Ling M. S. Effect of Chilled Air on Machining Performance in End Milling. Int J Adv Manuf Technol (2003) 21:787–795.

37. Special Metals Corporation. Inconel 718. Technical guide, www.specialmetals.com.

38. Sharman A. R. C., Hughes J. I., Ridgway K. An analysis of the residual stresses generated in Inconel 718TM when turning. Journal of Materials Processing Technology 173 (2006) 359–367.

39. Sandvik Coromant. Frezeleme Takımları. Sandvik Coromant, Sandviken, Sweden (2003).

40. Sandvik Coromant. Titanium alloys – High Speed Machining (Page 66–67). Sandvik Coromant, Sandviken, Sweden (2003).

41. Sharman A., Dewes R. C., Aspinwall D. K.. Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718. Journal of Materials Proccesing Technology 118 (2001) 29–35.

42. Su Y., He N., Li L., Li X.L.. An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V. Wear xxx (2006) xxx–xxx.

43. Şahin Yusuf. Talaş Kaldırma Prensipleri 1. Nobel Yayın Dağıtım (2000).

44. Şahin Yusuf. Talaş Kaldırma Prensipleri 2. Nobel Yayın Dağıtım (2001).

45. TSE. Frezelemede Takım Ömrü Deneyi – Bölüm 2: Parmak Frezeleme, TS ISO 8688–2. Ankara Nisan 2006.

46. Toh C.K.. Static and dynamic cutting force analysis when high speed rough milling hardened steel. Materials and Design 25 (2004) 41–50.

47. Ural Ayhan, Kılıç İbrahim. Bilimsel Araştırma Süreci ve SPPS ile Veri Analizi. Detay Yayıncılık, Ankara (2005).

48. Vivancos J., Luis C.J., Ortiz J.A., Gonzalez H.A.. Analysis of factors affecting the high-speed side milling of hardened die steels. Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 696–701.

49. Wang Z. G., Wong Y. S., Rahman M.. High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture 45 (2005) 105–114.

50. Xu J. H., Geng G. S. Experimental study on the milling of a Ti Beta 21S. Journal of Materials Processing Technology 129 (2002) 190–192.

ÖZGEÇMİŞ

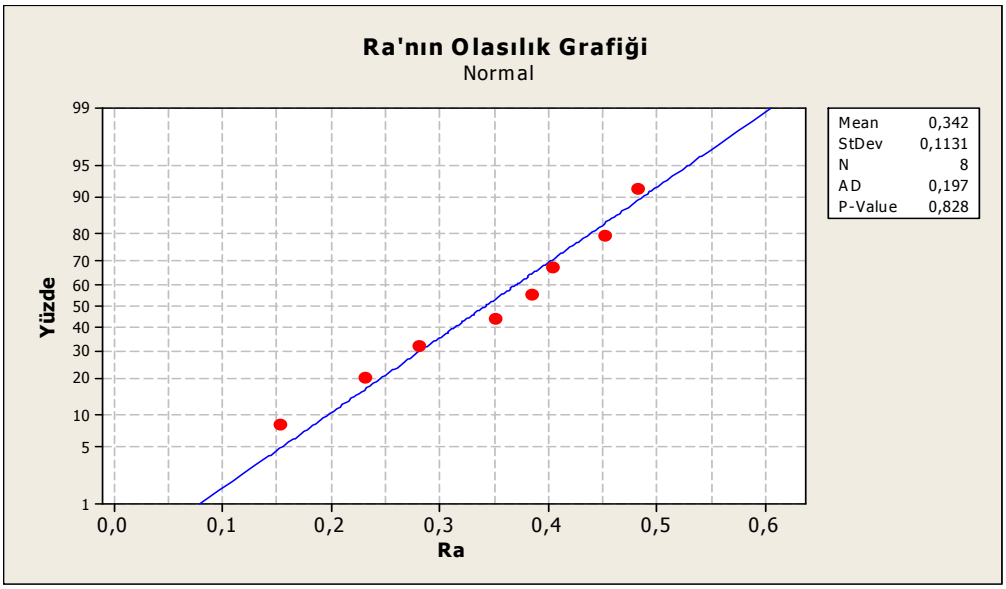
Mustafa DURSUN 29.05.1981 yılında Konya'da doğmuştur. Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.

EKLER

Deney Tasarımı 1 için İstatistiksel Analizler

Deney tasarımı 1'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine istatistiksel analiz uygulanabilmesi için gerekli olan normallik testi ve varyans eşitliği testi sonuçları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Normallik Testi



Şekil 1., Deney tasarımı 1, deney sonuçları için normallik eğrisi.

Varyansların Eşitliği Testi

A) Yan kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Yan Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Yan Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,5	4	0,0303552	0,0577581	0,273542
1,5	4	0,0510972	0,0972248	0,460455

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 0,35; p-value = 0,415

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,73; p-value = 0,426

B) Dik kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Dik Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Dik Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,4	4	0,0721735	0,137328	0,650382
0,8	4	0,0504870	0,096064	0,454957

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 2,04; p-value = 0,572

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,57; p-value = 0,479

C) Kesme Hızı için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Kesme Hızı

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Kesme Hızı	N	Lower	StDev	Upper
40	4	0,0287071	0,054622	0,258690
60	4	0,0854547	0,162598	0,770064

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,11; p-value = 0,106

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 15,90; p-value = 0,007

D) İlerleme için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir

Test for Equal Variances: Ra versus İlerleme

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

İlerleme	N	Lower	StDev	Upper
0,04	4	0,0675349	0,128502	0,608582
0,12	4	0,0604093	0,114943	0,544371

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,25; p-value = 0,859

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,04; p-value = 0,842

Regrasyon Analizi

A) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,475 – 0,160 Yan Kesme Derinliği + 0,129 Dik Kesme Derinliği
- 0,00127 Kesme Hızı + 0,175 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,4745	0,2371	2,00	0,139
Yan Kesme Derinliği	-0,16000	0,07231	-2,21	0,114
Dik Kesme Derinliği	0,1288	0,1808	0,71	0,528
Kesme Hızı	-0,001275	0,003615	-0,35	0,748
İlerleme	0,1750	0,9038	0,19	0,859

S = 0,102256 R-Sq = 65,0% R-Sq(adj) = 18,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,05820	0,01455	1,39	0,409
Residual Error	3	0,03137	0,01046		
Total	7	0,08957			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,05120
Dik Kesme Derinliği	1	0,00530
Kesme Hızı	1	0,00130
İlerleme	1	0,00039

B) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı

The regression equation is

Ra = 0,488 – 0,160 Yan Kesme Derinliği + 0,129 Dik Kesme Derinliği
- 0,00127 Kesme Hızı

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,4885	0,1967	2,48	0,068
Yan Kesme Derinliği	-0,16000	0,06301	-2,54	0,064
Dik Kesme Derinliği	0,1288	0,1575	0,82	0,460
Kesme Hızı	-0,001275	0,003150	-0,40	0,706

S = 0,0891081 R-Sq = 64,5% R-Sq(adj) = 37,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,057805	0,019268	2,43	0,206
Residual Error	4	0,031761	0,007940		
Total	7	0,089566			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,051200
Dik Kesme Derinliği	1	0,005305
Kesme Hızı	1	0,001300

C) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme Derinliği; Dik Kesme Derinliği

The regression equation is
Ra = 0,425 – 0,160 Yan Kesme Derinliği + 0,129 Dik Kesme Derinliği

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,4247	0,1076	3,95	0,011
Yan Kesme Derinliği	-0,16000	0,05750	-2,78	0,039
Dik Kesme Derinliği	0,1288	0,1437	0,90	0,411

S = 0,0813161 R-Sq = 63,1% R-Sq(adj) = 48,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,056505	0,028252	4,27	0,083
Residual Error	5	0,033061	0,006612		
Total	7	0,089566			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,051200
Dik Kesme Derinliği	1	0,005305

D) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme Derinliği

The regression equation is

Ra = 0,502 – 0,160 Yan Kesme Derinliği

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,50200	0,06322	7,94	0,000
Yan Kesme Derinliği	-0,16000	0,05654	-2,83	0,030

S = 0,0799646 R-Sq = 57,2% R-Sq(adj) = 50,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,051200	0,051200	8,01	0,030
Residual Error	6	0,038366	0,006394		
Total	7	0,089566			

Bağımsız Örneklemler İçin Tek Faktörlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA)

One-way ANOVA: Ra versus Yan Kesme Derinliği

Source	DF	SS	MS	F	P
Yan Kesme Derinliği	1	0,05120	0,05120	8,01	0,030
Error	6	0,03837	0,00639		
Total	7	0,08957			

S = 0,07996 R-Sq = 57,16% R-Sq(adj) = 50,03%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
Level  N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
0,5    4  0,42200  0,05776                  (---------*---------)
1,5    4  0,26200  0,09722  (---------*---------)
                            ----+---------+---------+---------+-----
                              0,20      0,30      0,40      0,50
```

Pooled StDev = 0,07996

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Yan Kesme Derinliği

Individual confidence level = 95,00%

Yan Kesme Derinliği = 0,5 subtracted from:

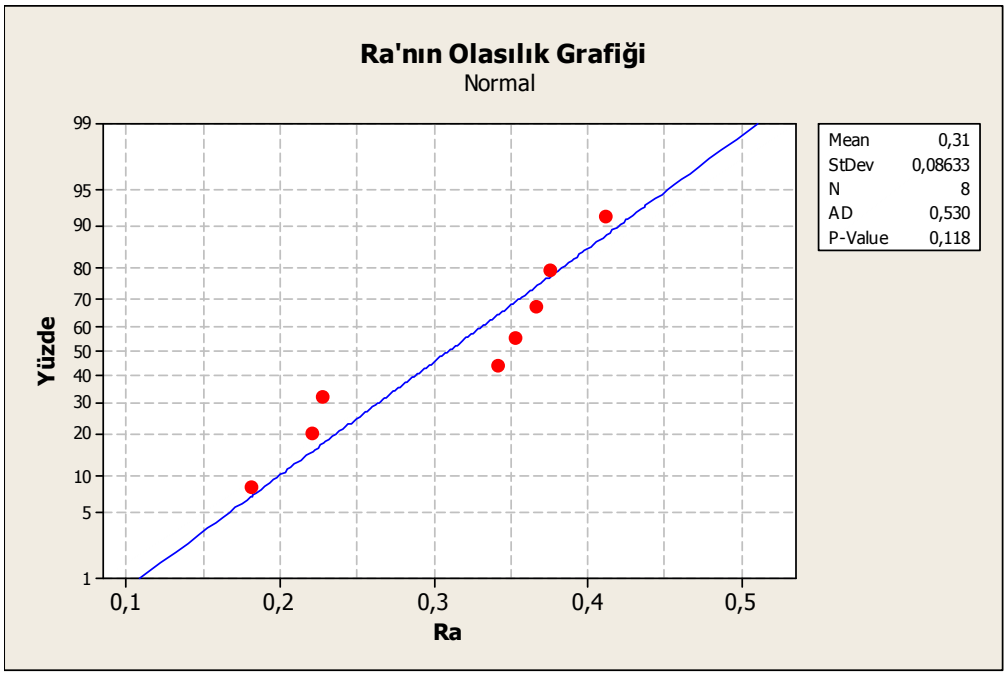
Yan Kesme Derinliği	Lower	Center	Upper
1,5	-0,29836	-0,16000	-0,02164

```
Yan Kesme
Derinliği  -----+---------+---------+---------+----
1,5        (-----------*----------)
           -----+---------+---------+---------+----
             -0,24     -0,12      0,00      0,12
```

Deney Tasarımı 2 için İstatistiksel Analizler

Deney tasarımı 2'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine istatistiksel analiz uygulanabilmesi için gerekli olan normallik testi ve varyans eşitliği testi sonuçları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Normallik Testi



Şekil 2., Deney tasarımı 2, deney sonuçları için normallik testi.

Varyansların Eşitliği Testi

A) Yan kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir

Test for Equal Variances: Ra versus Yan Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Yan Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0490948	0,0934148	0,442411
0,6	4	0,0418547	0,0796388	0,377168

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 1,38; p-value = 0,799

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,77; p-value = 0,414

B) Dik kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir

Test for Equal Variances: Ra versus Dik Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Dik Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0468444	0,0891329	0,422132
0,5	4	0,0510106	0,0970601	0,459675

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 0,84; p-value = 0,892

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,59; p-value = 0,470

C) Kesme hızı için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir

Test for Equal Variances: Ra versus Kesme Hızı

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Kesme Hızı	N	Lower	StDev	Upper
80	4	0,0363534	0,0691713	0,327594
120	4	0,0132332	0,0251794	0,119249

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 7,55; p-value = 0,131

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,79; p-value = 0,409

D) İlerleme için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir

Test for Equal Variances: Ra versus İlerleme

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

İlerleme	N	Lower	StDev	Upper
0,04	4	0,0517026	0,0983768	0,465911
0,12	4	0,0421124	0,0801291	0,379490

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,51; p-value = 0,744

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,13; p-value = 0,328

Regrasyon Analizi

A) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = - 0,145 + 0,550 İlerleme + 0,00335 Kesme Hızı - 0,030 Dik Kesme Derinliği + 0,197 Yan Kesme Derinliği

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,1455	0,1107	-1,31	0,280
İlerleme	0,5500	0,3733	1,47	0,237
Kesme Hızı	0,0033500	0,0007465	4,49	0,021
Dik Kesme Derinliği	-0,0300	0,1493	-0,20	0,854
Yan Kesme Derinliği	0,19667	0,09954	1,98	0,143

S = 0,0422295 R-Sq = 89,7% R-Sq(adj) = 76,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,046818	0,011704	6,56	0,077
Residual Error	3	0,005350	0,001783		
Total	7	0,052168			

Source	DF	Seq SS
İlerleme	1	0,003872
Kesme Hızı	1	0,035912
Dik Kesme Derinliği	1	0,000072
Yan Kesme Derinliği	1	0,006962

B) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme Derinliği; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = - 0,157 + 0,197 Yan Kesme Derinliği + 0,00335 Kesme Hızı + 0,550 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,15750	0,08129	-1,94	0,125
Yan Kesme Derinliği	0,19667	0,08678	2,27	0,086
Kesme Hızı	0,0033500	0,0006508	5,15	0,007
İlerleme	0,5500	0,3254	1,69	0,166

S = 0,0368171 R-Sq = 89,6% R-Sq(adj) = 81,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,046746	0,015582	11,50	0,020
Residual Error	4	0,005422	0,001356		
Total	7	0,052168			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,006962
Kesme Hızı	1	0,035912
İlerleme	1	0,003872

C) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme Derinliği; Kesme Hızı

The regression equation is

Ra = - 0,113 + 0,197 Yan Kesme Derinliği + 0,00335 Kesme Hızı

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,11350	0,09018	-1,26	0,264
Yan Kesme Derinliği	0,1967	0,1016	1,94	0,111
Kesme Hızı	0,0033500	0 ,0007622	4,40	0,007

S = 0,0431138 R-Sq = 82,2% R-Sq(adj) = 75,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,042874	0,021437	11,53	0,013
Residual Error	5	0,009294	0,001859		
Total	7	0,052168			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,006962
Kesme Hızı	1	0,035912

Unusual Observations

Obs	Yan Kesme Derinliği	Ra	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,600	0,3420	0,2725	0,0264	0,0695	2,04R

R denotes an observation with a large standardized residual.

D) Regression Analysis: Ra versus Kesme Hızı

The regression equation is

Ra = - 0,0250 + 0,00335 Kesme Hızı

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,02500	0,09384	-0,27	0,799
Kesme Hızı	0,0033500	0,0009201	3,64	0,011

S = 0,0520513 R-Sq = 68,8% R-Sq(adj) = 63,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,035912	0,035912	13,25	0,011
Residual Error	6	0,016256	0,002709		
Total	7	0,052168			

Unusual Observations

Obs	Kesme Hızı	Ra	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	80	0,3420	0,2430	0,0260	0,0990	2,20R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Bağımsız Örneklemler İçin Tek Faktörlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA)

One-way ANOVA: Ra versus Kesme Hızı

Source	DF	SS	MS	F	P
Kesme Hızı	1	0,03591	0,03591	13,25	0,011
Error	6	0,01626	0,00271		
Total	7	0,05217			

S = 0,05205 R-Sq = 68,84% R-Sq(adj) = 63,65%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----+---------+---------+---------+-----
80	4	0,24300	0,06917	(--------*--------)
120	4	0,37700	0,02518	(--------*--------)
				----+---------+---------+---------+-----
				0,210 0,280 0,350 0,420

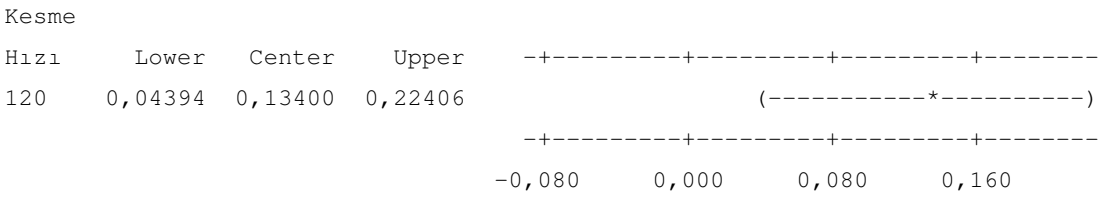
Pooled StDev = 0,05205

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of Kesme Hızı

Individual confidence level = 95,00%

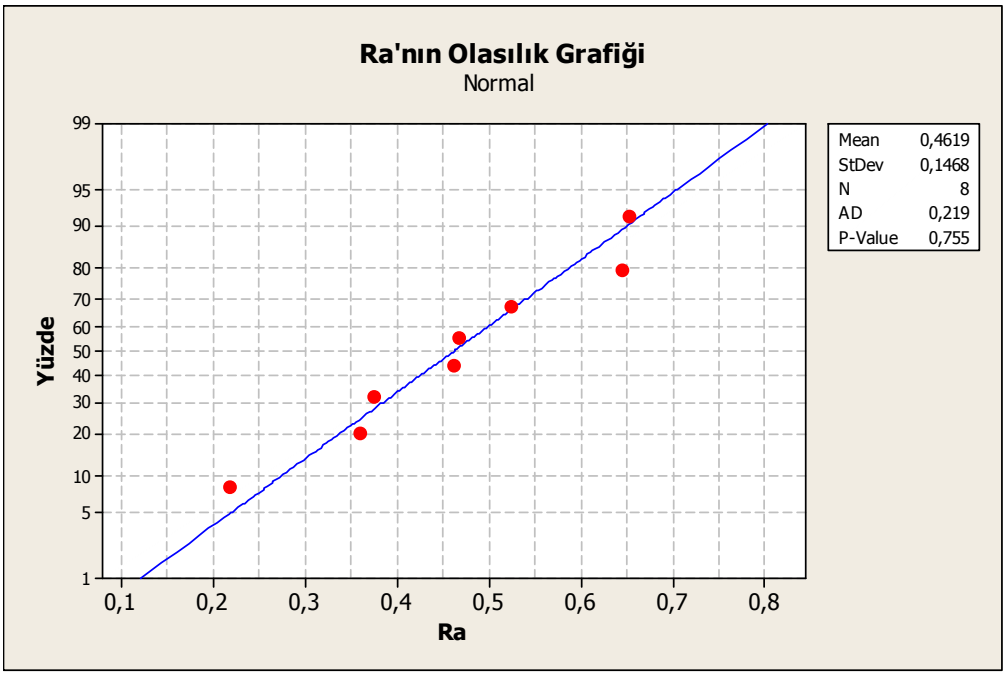
Kesme Hızı = 80 subtracted from:



Deney Tasarımı 3 için İstatistiksel Analizler

Deney tasarımı 2'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine istatistiksel analiz uygulanabilmesi için gerekli olan normallik testi ve varyans eşitliği testi sonuçları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Normallik Testi



Şekil 3., Deney tasarımı 3, deney sonuçları için normallik eğrisi.

Varyansların Eşitliği Testi

A) Yan kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Yan Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Yan Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0704539	0,134056	0,634886
0,6	4	0,0944395	0,179694	0,851029

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,56; p-value = 0,642

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,13; p-value = 0,729

B) Dik kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Dik Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Dik Kesme

Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,032063	0,061008	0,28893
0,5	4	0,113268	0,215520	1,02070

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,08; p-value = 0,067

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 11,91; p-value = 0,014

C) Kesme hızı için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Kesme Hızı

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Kesme

Hızı	N	Lower	StDev	Upper
80	4	0,0984887	0,187399	0,887518
120	4	0,0622681	0,118480	0,561121

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 2,50; p-value = 0,471

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 1,47; p-value = 0,272

D) İlerleme için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus İlerleme

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

İlerleme	N	Lower	StDev	Upper
0,04	4	0,0529612	0,100772	0,477253
0,12	4	0,0480322	0,091393	0,432836

F-Test (Normal Distribution)

Test statistic = 1,22; p-value = 0,876

Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,10; p-value = 0,764

Regrasyon Analizi

A) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,121 - 0,006 Yan Kesme Derinliği + 0,059 Dik Kesme Derinliği
+ 0,00102 Kesme Hızı + 2,73 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,1209	0,3449	0,35	0,749
Yan Kesme Derinliği	-0,0058	0,3101	-0,02	0,986
Dik Kesme Derinliği	0,0588	0,4651	0,13	0,907
Kesme Hızı	0,001019	0,002326	0,44	0,691
İlerleme	2,728	1,163	2,35	0,101

S = 0,131554 R-Sq = 65,6% R-Sq(adj) = 19,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,09887	0,02472	1,43	0,401
Residual Error	3	0,05192	0,01731		
Total	7	0,15079			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,00001
Dik Kesme Derinliği	1	0,00028
Kesme Hızı	1	0,00332
İlerleme	1	0,09527

B) Regression Analysis: Ra versus Dik Kesme Derinliği; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,118 + 0,059 Dik Kesme Derinliği + 0,00102 Kesme Hızı + 2,73 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,1183	0,2732	0,43	0,687
Dik Kesme Derinliği	0 ,0588	0,4028	0,15	0,891
Kesme Hızı	0,001019	0,002014	0,51	0,640
İlerleme	2,728	1,007	2,71	0,054

S = 0,113936 R-Sq = 65,6% R-Sq(adj) = 39,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,09886	0,03295	2,54	0,195
Residual Error	4	0,05193	0,01298		
Total	7	0,15079			

Source	DF	Seq SS
Dik Kesme Derinliği	1	0,00028
Kesme Hızı	1	0,00332
İlerleme	1	0,09527

C) Regression Analysis: Ra versus Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,142 + 0,00102 Kesme Hızı + 2,73 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,1418	0,1979	0,72	0,506
Kesme Hızı	0,001019	0,001806	0,56	0,597
İlerleme	2,7281	0,9031	3,02	0,029

S = 0,102178 R-Sq = 65,4% R-Sq(adj) = 51,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,09859	0,04929	4,72	0,071
Residual Error	5	0,05220	0,01044		
Total	7	0,15079			

Source	DF	Seq SS
Kesme Hızı	1	0,00332
İlerleme	1	0,09527

D) Regression Analysis: Ra versus İlerleme

The regression equation is
Ra = 0,244 + 2,73 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,24363	0,07605	3,20	0,019
İlerleme	2,7281	0,8503	3,21	0,018

S = 0,0961966 R-Sq = 63,2% R-Sq(adj) = 57,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,095266	0,095266	10,29	0,018
Residual Error	6	0,055523	0,009254		
Total	7	0,150789			

Bağımsız Örneklemler İçin Tek Faktörlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA)

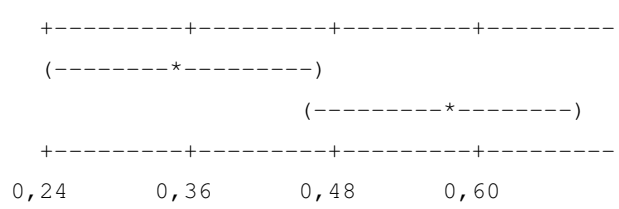
One-way ANOVA: Ra versus İlerleme

Source	DF	SS	MS	F	P
İlerleme	1	0,09527	0,09527	10,29	0,018
Error	6	0,05552	0,00925		
Total	7	0,15079			

S = 0,09620 R-Sq = 63,18% R-Sq(adj) = 57,04%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
0,04	4	0,35275	0,10077
0,12	4	0,57100	0,09139



Pooled StDev = 0,09620

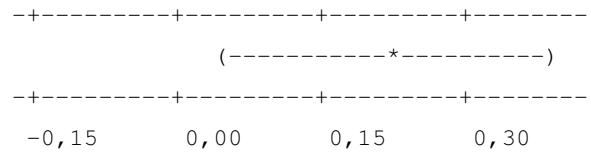
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of İlerleme

Individual confidence level = 95,00%

İlerleme = 0,04 subtracted from:

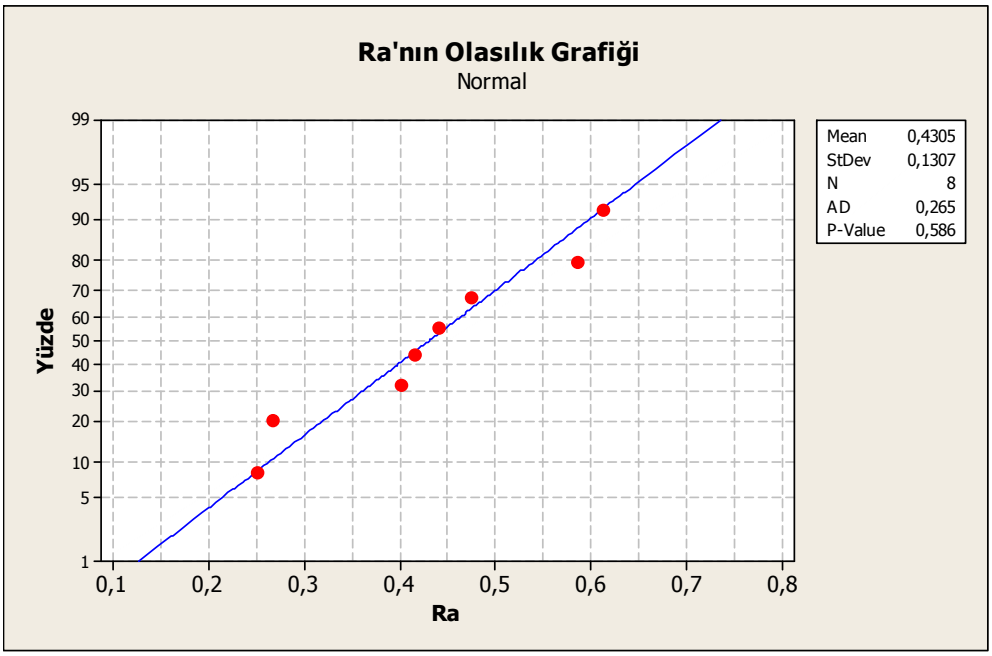
İlerleme	Lower	Center	Upper
0,12	0,05181	0,21825	0,38469



Deney Tasarımı 4 için İstatistiksel Analizler

Deney tasarımı 4'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine istatistiksel analiz uygulanabilmesi için gerekli olan normallik testi ve varyans eşitliği testi sonuçları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Normallik Testi



Şekil 4., Deney tasarımı 4, deney sonuçları için normallik testi.

Varyansların Eşitliği Testi

A) Yan kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Yan Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Yan Kesme Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0820621	0,156143	0,739491
0,6	4	0,0481738	0,091662	0,434112

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 2,90; p-value = 0,405

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,30; p-value = 0,298

B) Dik kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Dik Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Dik Kesme Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0452556	0,086110	0,407815
0,5	4	0,0826583	0,157278	0,744865

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,30; p-value = 0,349

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,04; p-value = 0,347

C) Kesme hızı için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Kesme Hızı

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Kesme Hızı	N	Lower	StDev	Upper
40	4	0,0461912	0,087890	0,416246
60	4	0,0872139	0,165946	0,785917

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,28; p-value = 0,324

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,61; p-value = 0,252

D) İlerleme için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus İlerleme

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

İlerleme	N	Lower	StDev	Upper
0,04	4	0,0393299	0,074835	0,354417
0,12	4	0,0880161	0,167472	0,793146

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,20; p-value = 0,219

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,61; p-value = 0,251

Regrasyon Analizi

A) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = - 0,050 + 0,343 Yan Kesme Derinliği + 0,538 Dik Kesme Derinliği
+ 0,00415 Kesme Hızı - 1,21 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,0500	0,3133	-0,16	0,883
Yan Kesme Derinliği	0,3433	0,2816	1,22	0,310
Dik Kesme Derinliği	0,5375	0,4225	1,27	0,293
Kesme Hızı	0,004150	0,004225	0,98	0,398
İlerleme	-1,206	1,056	-1,14	0,336

S = 0,119489 R-Sq = 64,2% R-Sq(adj) = 16,4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,07673	0,01918	1,34	0,421
Residual Error	3	0,04283	0,01428		
Total	7	0,11957			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,02122
Dik Kesme Derinliği	1	0,02311
Kesme Hızı	1	0,01378
İlerleme	1	0,01862

B) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,157 + 0,343 Yan Kesme Derinliği + 0,538 Dik Kesme Derinliği
- 1,21 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,1575	0,2304	0,68	0,532
Yan Kesme Derinliği	0,3433	0,2804	1,22	0,288
Dik Kesme Derinliği	0,5375	0,4206	1,28	0,270
İlerleme	-1,206	1,052	-1,15	0,315

S = 0,118965 R-Sq = 52,7% R-Sq(adj) = 17,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,06296	0,02099	1,48	0,347
Residual Error	4	0,05661	0,01415		
Total	7	0,11957			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,02122
Dik Kesme Derinliği	1	0,02311
İlerleme	1	0,01862

C) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme Derinliği; Dik Kesme Derinliği

The regression equation is

Ra = 0,061 + 0,343 Yan Kesme Derinliği + 0,538 Dik Kesme Derinliği

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,0610	0,2211	0,28	0,794
Yan Kesme Derinliği	0,3433	0,2891	1,19	0,288
Dik Kesme Derinliği	0,5375	0,4337	1,24	0,270

S = 0,122667 R-Sq = 37,1% R-Sq(adj) = 11,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,04433	0,02217	1,47	0,314
Residual Error	5	0,07524	0,01505		
Total	7	0,11957			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,02122
Dik Kesme Derinliği	1	0,02311

D) Regression Analysis: Ra versus Dik Kesme Derinliği

The regression equation is
Ra = 0,216 + 0,538 Dik Kesme Derinliği

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,2155	0,1848	1,17	0,288
Dik Kesme Derinliği	0,5375	0,4483	1,20	0,276

S = 0,126790 R-Sq = 19,3% R-Sq(adj) = 5,9%

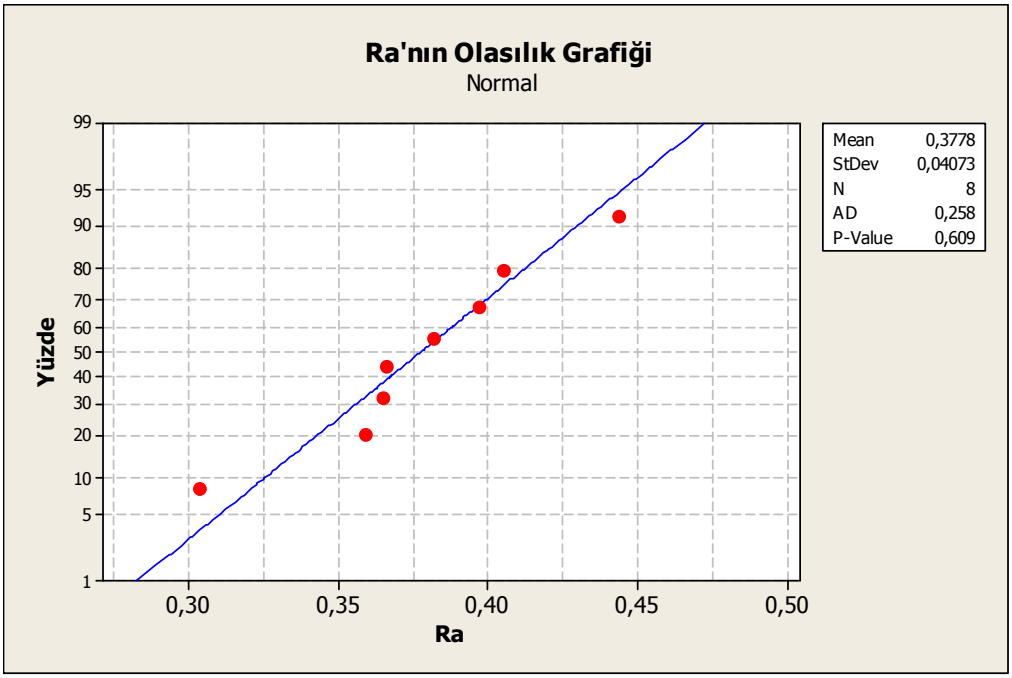
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,02311	0,02311	1,44	0,276
Residual Error	6	0,09645	0,01608		
Total	7	0,11957			

Deney Tasarımı 5 için İstatistiksel Analizler

Deney tasarımı 5'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine istatistiksel analiz uygulanabilmesi için gerekli olan normallik testi ve varyans eşitliği testi sonuçları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla gerçekleştirilen regrasyon analizi sonuçları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Normallik Testi



Şekil 5., Deney tasarımı 5, deney sonuçları için normallik eğrisi.

Varyansların Eşitliği Testi

A) Yan kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Yan Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Yan Kesme Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0107279	0,0204124	0,096673
0,6	4	0,0308859	0,0587679	0,278324

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,12; p-value = 0,116

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 2,70; p-value = 0,152

B) Dik kesme derinliği için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Dik Kesme Derinliği

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Dik Kesme Derinliği	N	Lower	StDev	Upper
0,3	4	0,0089948	0,0171148	0,081055
0,5	4	0,0310104	0,0590049	0,279447

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 0,08; p-value = 0,072

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 2,38; p-value = 0,174

C) Kesme hızı için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus Kesme Hızı

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Kesme Hızı	N	Lower	StDev	Upper
80	4	0,0214660	0,0408442	0,193438
120	4	0,0207684	0,0395169	0,187151

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,07; p-value = 0,958

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,05; p-value = 0,826

D) İlerleme için varyansların eşitliği testi sonucu Minitab çıktısı olarak aşağıda verilmiştir.

Test for Equal Variances: Ra versus İlerleme

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

İlerleme	N	Lower	StDev	Upper
0,04	4	0,0219269	0,0417213	0,197591
0,12	4	0,0188738	0,0359119	0,170078

F-Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,35; p-value = 0,811

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,00; p-value = 0,980

Regrasyon Analizi

A) Regression Analysis: Ra versus Yan Kesme De; Dik Kesme De; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,242 - 0,002 Yan Kesme Derinliği + 0,060 Dik Kesme Derinliği
+ 0,000775 Kesme Hızı + 0,444 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,2415	0,1256	1,92	0,150
Yan Kesme Derinliği	-0,0017	0,1129	-0,01	0,989
Dik Kesme Derinliği	0,0600	0,1693	0,35	0,747
Kesme Hızı	0,0007750	0,0008466	0,92	0,427
İlerleme	0,4437	0,4233	1,05	0,372

S = 0,0478905 R-Sq = 40,7% R-Sq(adj) = 0,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,004731	0,001183	0,52	0,735
Residual Error	3	0,006881	0,002294		
Total	7	0,011612			

Source	DF	Seq SS
Yan Kesme Derinliği	1	0,000000
Dik Kesme Derinliği	1	0,000288
Kesme Hızı	1	0,001922
İlerleme	1	0,002520

B) Regression Analysis: Ra versus Dik Kesme Derinliği; Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,241 + 0,060 Dik Kesme Derinliği + 0,000775 Kesme Hızı + 0,444 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,24075	0,09946	2,42	0,073
Dik Kesme Derinliği	0,0600	0,1466	0,41	0,703
Kesme Hızı	0,0007750	0,0007332	1,06	0,350
İlerleme	0,4437	0,3666	1,21	0,293

S = 0,0414759 R-Sq = 40,7% R-Sq(adj) = 0,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,004730	0,001577	0,92	0,509
Residual Error	4	0,006881	0,001720		
Total	7	0,011612			

Source	DF	Seq SS
Dik Kesme Derinliği	1	0,000288
Kesme Hızı	1	0,001922
İlerleme	1	0,002520

C) Regression Analysis: Ra versus Kesme Hızı; İlerleme

The regression equation is

Ra = 0,265 + 0,000775 Kesme Hızı + 0,444 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,26475	0,07333	3,61	0,015
Kesme Hızı	0,0007750	0,0006694	1,16	0,299

İlerleme	0,4437	0,3347	1,33	0,242

S = 0,0378656 R-Sq = 38,3% R-Sq(adj) = 13,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,004442	0,002221	1,55	0,300
Residual Error	5	0,007169	0,001434		
Total	7	0,011611			

Source	DF	Seq SS
Kesme Hızı	1	0,001922
İlerleme	1	0,002520

D) Regression Analysis: Ra versus İlerleme

The regression equation is
Ra = 0,342 + 0,444 İlerleme

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,34225	0,03077	11,12	0,000
İlerleme	0,4437	0,3441	1,29	0,245

S = 0,0389251 R-Sq = 21,7% R-Sq(adj) = 8,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,002520	0,002520	1,66	0,245
Residual Error	6	0,009091	0,001515		
Total	7	0,011612			