

**FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE TERS YÖNLÜ TALAŞ
KALDIRMANIN CVD/PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARIN
ÖMRÜNE ETKİSİ**

Yıleri YÜREKLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

Yıleri YÜREKLİ tarafından hazırlanan “FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE TERS YÖNLÜ TALAŞ KALDIRMANIN CVD/PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARIN ÖMRÜNE ETKİSİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yusuf USTA

.....

Tez danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can ÇOĞUN

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yusuf USTA

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih :18/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yıleri YÜREKLİ

**FREZELEME İŞLEMİNDE EŞ YÖNLÜ VE TERS YÖNLÜ TALAŞ
KALDIRMANIN CVD/PVD KAPLANMIŞ SERT METAL UÇLARIN
ÖMRÜNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yıleri YÜREKLİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAZİRAN 2012**

ÖZET

Bu çalışmada; klasik tezgâhlardan gelen zıt yönlü frezeleme ile modern bir kesme şekli olan eş yönlü frezeleme arasındaki takım ömrü farkı aşınma miktarları ölçülmek suretiyle sayısal ve güvenilir değerlerle ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla bir CNC tezgâhta eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme işlemleri değişik kesme hızı ve ilerlemelerde gerçekleştirilmiş, takım aşınması optik ve takımcı mikroskobunda incelenmiştir. Deneylerde paslanmaz çelik ve ISCAR firmasınınca üretilmiş H490 ANKX 120508PNTR - IC 830 kodlu kesici uç çifti kullanılmıştır. Deney tasarımı (design of experiments-DOE) yapılarak test sonuçları üç boyutlu grafiklerde (surface response) elde edilmiştir. Yapılan testler, beklendiği gibi eş yönlü frezelemenin zıt yönlü frezelemeye göre % 12,52 daha uzun ömür verdiğini, slot tipi frezelemenin zıt yönlüye göre % 12,92 daha uzun ömür verdiğini göstermiştir. En uzun takım ömrünün eş yönlüye çok yakın olmakla birlikte slot tipi frezeleme ile sağlandığı görülmüştür.

Bilim Kodu :914.1.140

Anahtar Kelimeler :Eş yönlü frezeleme, zıt yönlü frezeleme, takım ömrü, CVD / PVD, sert metal.

Sayfa Adedi : 111

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Yusuf USTA

**EFFECT OF UP-MILLING AND DOWN-MILLING ON TOOL LIFE OF
CVD/PVD-COATED INSERTS**

(M.Sc. Thesis)

YİLERİ YÜREKLİ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

JUNE 2012

ABSTRACT

In this study, the tool life for up milling which has been widely used on conventional milling machine tools and down milling which is being used recently on CNC machine tools has been investigated. It is known that down milling technique increases the tool life due to having less chip length and rigid cutting conditions. It is aimed that change in the tool life to be defined as reliable numerical values using a cutting tool and work piece pair. Stainless steel blocks and H490 ANKX 120508PNTR - IC 830 inserts produced by ISCAR were used and up-milling and down-milling operations were applied on a CNC machine tool, with various cutting speeds and feed rates. After applying a certain cutting distance, the insert was removed from tool holder and examined using optical and tool-makers-microscope. Design of experiment - DOE procedure was prepared and surface responses for tool life were obtained. Results showed that, 12.52 % increase on the tool life for down milling compare with the up milling, whereas 12.92 % increase for slot milling were observed. As well as slot milling and down milling has given almost same tool life, the longest tool life was achieved by slot milling.

Science Code : 914.1.140

Keywords : Down-milling, up-milling, tool life, CVD/PVD, coated inserts, carbide tools.

Page Number : 111

Advisor : Assist. Prof. Dr. Yusuf USTA

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada daha önceki çalışmalarından tanıdığım, talaşlı imalatın ilgi alanında olduğunu bildiğim ve tez çalışmamın özellikle kayda değer, güzel bir çalışma olmasını istediğim için özellikle danışmanım olması hususunda ısrar ettiğim, akademik tecrübesi ve dönüm noktalarında parlak fikirleri ile bu çalışmanın kalitesini arttıran, tez danışmanım değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf USTA'ya, insanlığı ile örnek kişi ve ders aldığım en iyi öğretmenlerden biri olduğunu düşündüğüm değerli bilgileri ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. İbrahim USLAN'a, Yüksek Lisans yapmamı teşvik eden Sayın Namık ÖZEL' e, tez çalışmamda istatistik programı konusundaki katkıları ile teze katkı sağlayan Sayın Sefa Temiz'e, Pens ampermetre cihazı konusundaki bilgileri ile büyük katkıda bulunan mesai arkadaşım Sayın Tahir DUTAĞAÇ ve Sayın Kenan ÇINAR'a, özellikle tecrübesi ve bilgisi ile doğru kesme parametrelerinin belirlenmesini sağlayarak tez çalışmama büyük katkıda bulunan, yıllarca omuz omuza çalıştığım ve çok değer verdiğim CNC freze atölyesi postabaşısı Sayın Muzaffer KAMIŞLI' ya, katkılarından dolayı freze atölyesi postabaşısı Sayın İsmail İSA' ya, Talaşlı imalat konusunda yetiştirip tecrübe kazanmamı sağlayan başta eski müdürüm ve dostum Sayın Aziz UĞUR'a ve Fabrikadaki tüm mesai arkadaşlarıma, özellikle tecrübesi, bilgisi ve emeğiyle büyük katkı sağlayan tezgâh operatörü Sayın Mustafa Kubat'a, tezgâh operatörü Sayın A. Tolga Unutmaz'a, mesai arkadaşlarımdan katkıda bulunan Sayın Öncü ALPER ve Sayın Halil ÇAKIR'a, değerli katkılarından dolayı hocalarım Sayın Prof. Dr. Can ÇOĞUN ve Prof. Dr. Sayın Mustafa YURDAKUL'a, anlayış gösteren ve destek sağlayan eşim ve minnoşum kızıma, bugünlerimi borçlu olduğum aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmayı maddi olarak destekleyen Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TALAŞLI İMALAT	5
2.1. Kesici Takım Aşınması	5
2.1.1. Aşınma mekanizmaları	8
2.1.2. Aşınma-takım malzemesi ilişkisi.....	11
2.1.3. Takım aşınma tipleri	11
2.1.4. Takım aşınmasının kontrolü (belirlenmesi).....	18
2.1.5. Talaş kaldırmada ısı oluşumu	20
2.2. Kesici Takım Ömrü.....	23
2.2.1. Taylor'un takım ömrü modeli.....	25
3. FREZELEME	27
3.1. Frezeleme İşleminde Talaş Kaldırma.....	28
3.1.1. Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma.....	29
3.1.2. Simetrik frezeleme yöntemi.....	30
3.1.3. Asimetrik frezeleme yöntemi	30

Sayfa

3.1.4. Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma	31
3.2. Eş (Aynı) Yönlü Frezeleme.....	31
3.3. Zıt Yönlü Frezeleme.....	33
3.4. Eş Yönlü Frezelemenin ve Zıt Yönlü Frezelemenin Birbirlerine Göre Avantaj ve Dezavantajları	34
3.5. Frezelemede Temel Parametreler	36
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	38
4.1. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi.....	38
4.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular	38
4.2.1. Freze kafası	40
4.2.2. Takım tutucu malafa	41
4.3. CNC Tezgâh.....	41
4.4. Takımcı Mikroskobu ve Optik Mikroskop	42
4.5. Ön Deneyler	43
4.6. İstatistik Programı Kullanılarak Deney Programının Oluşturulması	46
4.7. Tasarım Modeli Seçimi	47
4.7.1. Box-behnken tipi tasarım.....	48
4.8. Deneylerin Yapılması.....	52
4.9. CNC Tezgâhının Çektiği Akımın Ölçülmesi	56
4.10. Sert Metal Uçun Aşınma Miktarının Ölçülmesi	56
4.11. Aşınma Miktarlarının Diğer Değişkenlerle Birlikte İstatistik Programı ile Değerlendirilmesi	58
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	59
5.1. Frezeleme Tipi ve Aşınma Tipi Arasındaki İlişkinin Aşınma Değerleri Göz Önüne Alınarak İncelenmesi	64
5.2. Regresyon Analizi ile Aşınmanın incelenmesi	68

Sayfa

5.2.1. Basit regresyon analizi.....	68
5.2.2. Polinomial regresyon analizi	71
5.2.3. Frezeleme tiplerinin takım aşınmasında avantaj yönünden incelenmesi	75
5.3. (ANOVA) Varyans Analizi.....	79
5.4. 3 Boyutlu Grafiklerle Değerlendirme	81
5.4.1. Üniform aşınmaların (V _{bab}) 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi....	81
5.4.2. Maksimum aşınmaların (V _{bMax}) 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi	85
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	94
EK-1. Deney aşınma ve akım sonuçları.....	95
EK-2. Aşınma miktarlarının kontrol amaçlı tekrar ölçüm sonuçları.....	109
EK-3. Analiz sonucu V _{bab} regresyon denklemi ile elde edilen değerler	110
ÖZGEÇMİŞ	111

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertifika bilgileri	38
Çizelge 4.2. Ön deneyler sonucunda belirlenen kesme parametreleri.....	46
Çizelge 4.3. Yanıt yüzeyi tasarımlarının özeti.....	49
Çizelge 4.4. İstatistik programında box-behnken tasarımı ile oluşturulan deney programı raporu [23]	50
Çizelge 4.5. İstatistik programı ile oluşturulan deney programı.	51
Çizelge 5.1. Ölçülen ve denklem ile bulunan aşınma V_{bab} aşınma değerlerinin toplam ortalama değerlerinin bulunması.....	76
Çizelge 5.2. Frezeleme tiplerinin ölçülen ve denklem ile bulunan V_{bab} toplam aşınma ortalamaları ile elde edilen avantaj karşılaştırmaları	77
Çizelge 5.3. İstatistik programı ile % 95 güven aralığında aşınma ortalamaları.....	79
Çizelge 5.4. Test istatistiği ile teorik F değerleri arasındaki ilişki [31].....	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Temel aşınma tipleri [12]	8
Şekil 2.2. Kesici takımlarda görülen hasar ve aşınma tiplerinin sınıflandırılması [10, 12]	12
Şekil 2.3. Takım aşınma şekilleri, sebepleri ve çözümleri [13].	13
Şekil 2.4. Krater aşınması [10, 12].	19
Şekil 2.5. Çeşitli aşınma tipleri ve bunların analizinde esas alınan boyutlar [10]... ..	19
Şekil 2.6. Serbest yüzey aşınması [10, 12].	20
Şekil 2.7. HSS kesici takımda dağlama yöntemi ile elde edilen eş sıcaklık dağılım eğrileri [10, 14]	21
Şekil 2.8. Metal işlemede ısı dağılımı [10].	22
Şekil 2.9. Sıcaklık / kesme hızı / ilerleme ilişkisi [10].	23
Şekil 2.10. Tungsten karbür için tipik aşınma eğrileri [12].	24
Şekil 3.1. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi	29
Şekil 3.2. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi [17].	30
Şekil 3.3. Asimetrik frezelemenin gösterilişi [17].	31
Şekil 3.4. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi [17]	32
Şekil 3.5. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi [17].	33
Şekil 3.6. Eş yönlü - zıt yönlü frezelemenin karşılaştırılması	34
Şekil 3.7. Eş yönlü frezelemede kesici ucun iş parçasına çeşitli giriş konumları ...	35
Şekil 3.8. Zıt yönlü frezelemede kesme sonu takımın iş parçasından çıkış anı	35
Şekil 3.9. Zıt yönlü frezelemede kesme sonu iş parçasından çeşitli çıkış konumları	36
Şekil 4.1. Kesici takım PVD kaplama katmanları [18]	39
Şekil 4.2. İki taraflı, 4 kesme kenarlı sert metal kesme ucu [19]	40

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası özellikleri	41
Şekil 4.4. IC830 sert metal ucun kataloğundaki tavsiye edilen kesme hızı değerleri [19]	45
Şekil 4.5. Eş yönlü frezeleme	52
Şekil 4.6. Zıt yönlü frezeleme	53
Şekil 4.7. Slot frezeleme.....	53
Şekil 5.1. Temel aşınma tipleri [10, 12]	59
Şekil 5.2. Maksimum aşınmaların bölgelere göre dağılımı.....	65
Şekil 5.3. Aşınma V_{bab} 'nin – aşınma tipi (Ç-Ü) ve kesme hızı (V_c) ile incelenmesi.....	66
Şekil 5.4. Aşınma V_{bab} 'nin – aşınma tipi (Ç-Ü) ve dış başı ilerlemesi (f_z) ile incelenmesi.....	67
Şekil 5.5. Aşınma V_{bab} 'ın – aşınma tipi ve frezeleme tipi ile incelenmesi.....	68
Şekil 5.6. Regresyon analizi sonuçları	69
Şekil 5.7. Denklemlerle elde edilen V_{bab} - aşınma değerleri ile ölçülen V_{bab} - Aşınma değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.8. Polinomiyal regresyon analizi sonuçları	73
Şekil 5.9. Polinomiyal regresyon sonucu denklemlerle elde edilen V_{bab} - aşınma değerleri ile ölçülen V_{bab} - aşınma değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.10. Polinomiyal regresyon denklemi ile elde edilen V_{bab} -aşınma değerleri ile ölçülen V_{bab} -aşınma değerlerinin ve regresyon denklemi ile elde edilen V_{bab} -aşınma değerlerinin karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.11. Üniorm aşınmaların (V_{bab}) işleme tipine (Type) (eş-zıt-slot) göre %95 güven aralığında ortalamalarının diyagramlarla karşılaştırılması...	78
Şekil 5.12. Kesme hızı (V_c), dış başına ilerleme (f_z) ve frezeleme tipi (Type) değişkenlerinin üniorm aşınma (V_{bab}) üzerindeki etkilerinin (ANOVA) analizi sonuçları	80
Şekil 5.13. Ucu kesici kenarının üniorm aşınmalarının (V_{bab}) kesme hızı (V_c) ve dış başı ilerleme (f_z) ile değişimi	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5.14. Uçun kesici kenarında üniform aşınmaların (V_{bab}) kesme hızı (V_c) ve frezeleme tipi (Type) ile değişimi	83
Şekil 5.15. Üniform aşınmaların (V_{bab}); (V_c) ve (Type) ile değişimi-yan görünüş	84
Şekil 5.16. Üniform aşınmaların (V_{bab}) frezeleme tipi (Type) ve diş başı ilerleme (f_z) ile değişimi	85
Şekil 5.17. Maksimum aşınmaların (V_{bMax}) kesme hızı (V_c) ve diş başı ilerleme (f_z) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi	86
Şekil 5.18. Maksimum aşınmaların (V_{bMax}) kesme hızı (V_c) ve frezeleme tipi (Type) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi	87
Şekil 5.19. Maksimum aşınmaların V_{bMax} frezeleme tipi (Type) ve diş başı ilerlemesi (f_z) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. HSS kesici takımda dağlama yöntemi ile elde edilen eş sıcaklık dağılım eğrileri [10, 14]	21
Resim 2.2. Kesici uç üzerindeki aşınma bölgeleri [10, 12].....	25
Resim 4.1. Deneyde kullanılan ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR-IC830 PVD kaplamalı sert metal uç.....	39
Resim 4.2. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası	40
Resim 4.3. Takım tutucu malafa.....	41
Resim 4.4. CNC tezgâh	42
Resim 4.5. Takımcı mikroskobu	43
Resim 4.6. Sert metal uçların aşınma miktarlarının incelenmesinde kullanılan optik mikroskop.....	43
Resim 4.7. Soğutma suyu kullanılarak yapılan zıt yönlü frezeleme	54
Resim 4.8. Mikroskopta aşınma değerleri ölçümü	55
Resim 4.9. Mikroskopta sert metal uç görünümü ve aşınma ölçümü	55
Resim 4.10. Optik mikroskopta 19.deney ön deney 3.uç-1.köşe-eş yönlü frezeleme görüntüleri	56
Resim 4.11. Mikroskop altında aşınma ölçümünün yapılışı	57
Resim 4.12. Mikroskop altına yerleştirilmiş ölçüme hazır sert metal uç	58
Resim 5.1. Çentik aşınması	60
Resim 5.2. $V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z olan zıt yönlü frezeleme ile yapılan deneydeki sert metal ucun aşınmasının mikroskopta incelenmesi.....	62
Resim 5.3. $V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z olan eş yönlü frezeleme ile yapılan deneydeki sert metal ucun aşınmasının mikroskopta incelenmesi.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a_p	Frezeleme derinliği
C	özellikle ilerlemeyi ihtiva eden tüm girdi parametrelerine bağlı bir sabittir
d	Freze kafası çapı (sert metal uç takılı halde)
dev/dk	Devir /Dakika
$E(y)$	Yanıt yüzeyi fonksiyonu
f	ilerleme
f_z	Diş başına ilerleme
k	Farklı proses değişkeninde tekrar deneylerinin sayısı
N	Devir
n_i	Her bir proses değişkeninde tekrar deneylerinin sayısı
T	Takım ömrü
V_c	Kesme hızı
V_f	Tabla ilerlemesi
x_i	Bağımsız proses değişkenleri,
$\overline{Y}$	Prosesin yanıtı
Y	Tekrar deneyleri yanıtının ortalama değeri
z	Freze kafasında takılı sert metal uç sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
BUE	Built Up Edge
CCC	Daire ile Çevrelenmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Circumscribed)

Kısaltmalar	Açıklama
CCD	Merkezi Kompozit Tasarım (Central Composite Design)
CCF	İçine Daire Çizilmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Inscribed)
CCI	Merkezi bir Yüzde Olan Merkezi Kompozit Tasarım (Face Centered)
CNC	Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol (Computerized Numerical Control)
CVD	Kimyasal Buhar Çökertme (Chemical Vapour Deposition)
PVD	Fiziksel Buhar Çökertme (Physical Vapour Deposition)
YYT	Yanıt Yüzey Tekniği

1. GİRİŞ

Zıt yönlü ve eş yönlü frezeleme işlemleri uzunca yıllardır bilinmekte ve özellikle zıt yönlü kesme işlemi alışılmış tezgâhlarda uygulanmaktadır. Eş yönlü talaş kaldırmanın tezgâhtaki tabla ve eksen boşluklarına duyarlılığı yüksek olduğundan, bu tür tezgâhlarda uygulanması son derece güç olmaktadır. Öte yandan, takma uçlu sert metal kesici takımların uç geometrileri de minimum bir talaş derinliğine (özellikle kaplama sonrası mutlak keskin köşe oluşmaması nedeniyle) ihtiyaç duymaktadır. Bu da başlangıçtaki talaş kalınlığı sıfır olan zıt yönlü frezeleme yöntemi ile sağlanamamaktadır. NC veya CNC tezgâhların yapısal özellikleri ve boşluksuz olarak eksen hareketini sağlayan parçaları, bu tip takma uçlu kesicilerin kullanımını yaygınlaştırmış ve kesici uçlar da giderek bu yöndeki talaş kaldırmaya uygun olarak tasarlanmaya başlanmıştır.

Pala ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme ile elde edilmiş yüzeyleri XRD testleri ile analiz etmişlerdir. XRD testi ile kesme işlemi uygulanmış yüzeylerde kalıcı makro gerilmeleri ve mikro gerinimleri tespit etmişler ve bunların etkilerini C45 malzeme için araştırmışlardır [1].

Toh tarafından yapılan çalışmada, sertleştirilmiş çeliğin yüksek hızda kaba frezelenmesinde eş ve zıt yönlü frezelenmesi arasındaki talaş yüzey sıcaklığının karşılaştırılması incelenmiştir. Çalışmada, talaş yüzeyi sıcaklığında ilk olarak eş yönlü ve zıt yönlü frezelemenin oluşturduğu etkiler karşılaştırılmış, ikincil olarak da kesici takım şartlarının ve kesme derinliğinin etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, zıt yönlü frezeleme eş yönlü frezelemeden genelde daha düşük talaş yüzey sıcaklığı oluşturmaktadır [2].

Ryu ve Chu yaptıkları çalışmada, yan duvar işleminde eş ve zıt yönlü frezeleme işlemlerini kullanarak şekil hatalarını azaltma çalışmaları yapmışlardır [3].

Dweiri ve arkadaşları çalışmalarında, Alomic-79 malzemesinin eş yönlü frezelenmesinde yüzey pürüzlüğünün belirlenmesinde işleme değişkenlerinin etkisini

önceden tahmin etmek için bulanık sinir ağı sistemini kullanmışlardır. İş mili hızı, ilerleme, kesme derinliği, helis kanalı sayısı verileri kullanılarak 2000 d/dk'da, 4 helisli takım ile 0,06 mm/diş ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri olarak 0,224 μm 'ye ulaşmışlardır. Bu değer klasik taşlama tezgâhlarında elde edilen en hassas taşlama değerlerinden biridir. Bu çalışma bulanık yüzey pürüzlülüğü modellemesinin CNC'de eş yönlü frezeleme işleme verilerini etkili biçimde optimize edebildiğini göstermiştir [4].

Mann, Insperger ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Eş yönlü ve zıt yönlü frezelemenin dengesi (tırlama yapmadan kararlı, istikrarlı kesmesi) üzerine çalışmalar yapmışlardır. Metal işleme operasyonlarındaki modeller proses verimliliğini geliştirmek için avantajlar sağlamaktadır. Dinamik işleme modelleri imalatçılara proses parametrelerinin geniş bir kombinasyonuna göre dengeli ve dengesiz (istikrarsız, tırlama yaparak) kesmenin bölgelerini tahmin edebilmelerini sağlamaktadır. Hatalı proses optimizasyonlarına ve pahalı denemeler yerine analitik metotlar ve simülasyon kullanımına imkan veren bu metotların kullanımı konvansiyonel tornalama ve yüksek hızlı frezeleme için endüstriyel uygulamalarda daha rantabl olmaktadır [5].

Mann, Insperger ve arkadaşları yaptıkları diğer çalışmada, deneysel bir düzenek hazırlayarak yüksek hızlı frezeleme dinamiklerini taklit eden, bir esneme sistemi (eğilme) kullanarak, data örnekleri olarak frezeleme sisteminin dengesini deneysel olarak tespit etmeye çalışmışlardır [6]. Önceki çalışmalarında ise, eş ve zıt yönlü frezeleme için kısmi takım çapı ve tam takım çapı kullanarak frezeleme operasyonları için yapılan çalışmalar ile çeşitli saptamalar yapmışlardır [5]. Çalışmalarında “Finite element analysis in time (FEAT)” metodunu ve “Semi-discretization (SD)” metodunu kullanarak teorik tahminler elde etmişlerdir.

Schueler ve arkadaşları çalışmalarında, titanyum alaşımlarının yüzeylerinin mikro yapılarının değiştirilmesi suretiyle işlevlerinin arttığını bildirmişler, 48 μm çapında mikro-parmak freze ile Ti-6Al-4 V ve Ti-6Al-7Nb alaşımlarında kesme yaparak, yüzeyde mikro yapı oluşturan deneyler yapmışlardır. Talaş oluşumlarını, kanal

işlemede (slot milling) eş ve zıt yönlü frezeleme kullanarak meydana gelen çapak oluşumunu şu andaki mevcut modellerle karşılaştırmışlardır [7].

Lacalle ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, eğimli yüzeylerin yüksek hızlı frezelemede takım eğilmesinin etkisini araştırmış, yaptıkları testlerde eş ve zıt yönlü frezeleme işlemlerini kullanmışlardır [8].

Long ve Balachandran çalışmalarında değişken takım devirlerinde eş yönlü ve zıt yönlü frezeleme proseslerinin dengesini (tırlama yapmadan kararlı, istikrarlı kesmesini) incelemişlerdir [9].

Yapılan araştırmalar sonucu CNC tezgâhlarda boşluksuz eksen hareketi sağlayan parçaları nedeniyle eş yönlü frezelemenin önerildiği ama literatürde takım ömrü açısından eş yönlü frezelemenin zıt yönlüye avantajının sayısal değerlerle ortaya koyulmadığı görülmüş, bu nedenle bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

Çalışmanın amacı; klasik tezgâhlardan gelen zıt yönlü frezeleme ile modern bir kesme şekli olan aynı yönlü frezeleme arasındaki takım ömrü farkını seçilmiş bir malzeme ve kesici uç yardımıyla, sayısal ve güvenilir değerlerle ortaya koymaktır.

Deneylerde kullanılacak kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı) tespiti için öncelikle bir CNC tezgâhta ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler esnasında doğru kesme parametrelerinin tespiti için araştırmalar yapılmış, değişik kişi kurum ve kaynaklardan bilgiler edinilmiştir. Bir istatistik programı kullanılmak suretiyle ön deneyler sonucu tespit edilen kesme parametreleri değerleri istatistik programına girilerek box-behnken metodu kullanılarak bir deney programı hazırlanmıştır. Deney programı doğrultusunda deneyler gerçekleştirilmiş, her deney için ayrı sert metal uç kullanılmıştır. Deneylerde kare profil paslanmaz çelik malzeme kullanılmış, CNC tezgâhta eş yönlü, zıt yönlü frezeleme ve slot frezeleme işlemleri değişik kesme hızı ve ilerlemelerde gerçekleştirilmiştir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan sert metal uçların aşınmaları mikroskop altında incelenmiş, maksimum ve ortalama aşınma miktarları ölçülmüştür. Deneylerde Sert metal uçlarda oluşan aşınmaların türleri

incelenmiş, aşınmaların sebepleri irdelenmiş ve bunlar üzerine yorumlar yapılmıştır. Ölçümler Yanıt Yüzey (Response Surface) Tekniği ile istatistik programında ve Microsoft Office Excel programında değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucu elde edilen 3 boyutlu grafikler yardımıyla yorumlar yapıp sonuçlar elde edilmiştir.

2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddeme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri gereklidir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. [10].

Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesi ile gerçekleşir [10].

Talaşlı imalatta kesme işleminde bilinmesi gereken önemli terimler kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. Kesme hızı (V) iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dk olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/dk'dır. Kesme derinliği (a), iş parçasından kaldırılan malzemenin derinliği olup iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla çoğunlukla metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma hızı bulunur [10].

2.1. Kesici Takım Aşınması

Aşınma, katı cisimlerin sürtünen kuru yüzeyleri arasında malzeme kayıplarının meydana gelmesidir. ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma; “kullanılan malzemelerin, başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır [11]. Aşınma; kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama durumu, malzeme cinsi ve sertliğinden etkilenen

karmaşık bir olaydır. Bu etkilerin bazılarının baskın olması farklı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, birkaç aşınma mekanizması birlikte etkili olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, aşınma olayını ve simülasyonunu karmaşık bir hale getirmektedir [11].

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Kesici kenar ömrü genellikle dakika olarak ifade edilir ve günümüzde takım ömrü eskiden olduğundan daha azdır ve çoğunlukla 15 dakikalık süre üzerine oturtulmakla beraber genellikle bir miktar daha fazla olur [10]. İlk zamanlarda takım ömrü parametresi sadece takımın daha fazla kesme yapmaması gibi basitçe ifade edilirdi. Günümüzde yüzey dokusu, hassasiyet, takım aşınma biçimi, talaş oluşumu önceden kestirilebilir güvenli takım ömrü gibi yaygın parametreler söz konusudur [10].

Doğru kesici takımın seçimi işleme sırasında maksimum verimliliğin elde edilmesi için kritiktir. Özellikle kesici malzeme seçimi ve kesme geometrisi önemlidir. Ancak bununla beraber işleme şartları ve özellikle işleme parametreleri genel kararlılık rijitlik standart değilse doğru takımla bile optimum takım ömrü elde edilemeyecektir. Titreşimler takım tutucunun ve bağlamanın rijitliğinde bir eksiklik olduğu durumlarda pek çok kesici kenarın vaktinden evvel ömrünü doldurmasına sebep olacaktır. Takım aşınması kaçınılmazdır ve esasında negatif bir süreç değildir. Takım aşınmasının olup olmaması değil, olduğunda ne kadar ve hangi tipte meydana geldiği önemlidir. Takım aşınması kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür.

Kesici kenar ömrü takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenir. Aşınma takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur [10, 12].

Mekanik yük faktörleri

Mekanik yüklerin statik bileşenlerinden başka talaş biçimlenme sürecinin kendisinden oluşan çeşitli dinamik yüklerde oluşumu söz konusudur. Bunların en önemlileri değişen talaş derinliğinden, kesintili işlemeden kaynaklananlar ve frezelemede görülenlerdir.

Termal (ısı) yük faktörleri

Talaş kaldırma işlemi talaş yüzeyinde ve kesici ucun yan yüzeyinde çok miktarda ısı oluşmasına sebep olur. Termal yük önemli ölçüde takım malzemesi üzerindedir ve frezelemede olduğu gibi bazı işlemlerde kesici kenarlar iş parçasından ayrılırken ve tekrar girerken ortaya çıkan dinamik bir faktördür.

Kimyasal yük faktörleri

Talaş oluşumu-biçimlenmesi süreci devamlı olarak yeni bir metal ara yüzeyi oluşturulması anlamı taşır ve talaş biçimlenmesi sırasında takım malzemesi boyunca oldukça yüksek sıcaklık ve basınç altında zorlama vardır. Oluşan bölgeler metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyon için oldukça uygun bir ortam hazırlar.

Aşındırıcı yük Faktörleri

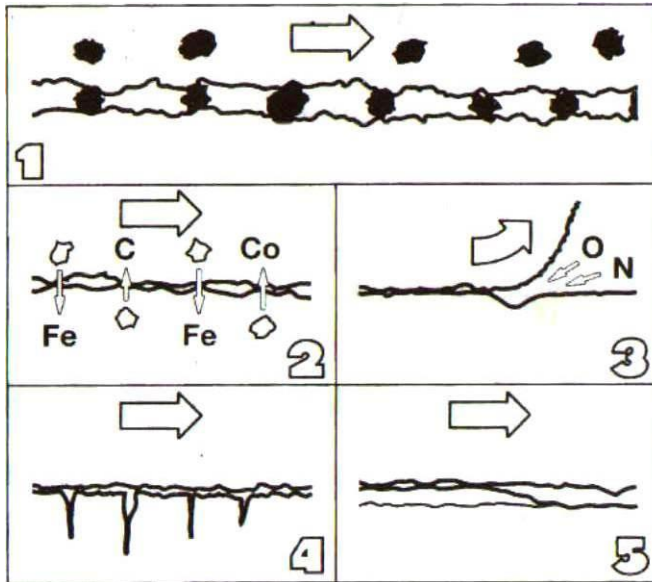
Pek çok iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında sertlikleri takım malzemesi ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek çeşitli tipte oldukça sert partiküller görülür. Daha sonra bunlar takım üzerinde taşlamadan daha çok aşındırma etkisi yapan bir sınır oluştururlar. Bu kalıntılar veya kabuk parçacıkları malzeme miktarının çok büyük kısmını oluşturmaları bile işleme sırasında tüm işlenecek malzemenin kesici kenardan geçmesiyle hemen hemen daima değişen miktarlarda aşındırma görülür.

2.1.1. Aşınma mekanizmaları

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar;

1. Abraziv (aşındırıcılarla) aşınma
2. Difüzyon (atomik yer değiştirme ile) aşınma
3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma
5. Adheziv (yapışma ile) aşınma şeklinde özetlenebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Temel aşınma tipleri [12]

Abraziv aşınma

Abraziv aşınma çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert taneciklerinin sebep olduğu aşınma şeklindedir. Sert tanecikler yumuşak malzemenin yüzeyinden parçalar koparması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kopan parçacıklar malzemelerin ara yüzünden uzaklaştırıldığı, yapışmanın olmadığı ve böylelikle yüzeyde malzeme kaybının fazla olduğu bir mekanizmadır [11].

Kesici kenarın abraziv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abraziv aşınmaya karşı koyabilecektir. Abraziv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater oluşmasına sebep olur [12, 10] .

Difüzyon aşınma(atomik yer değiştirme)

Difüzyon aşınmasında talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşumunu belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri, bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır (birleşme eğilimi yoktur). Tungsten karbür ve çelik birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucu olarak takımın talaş yüzeyi üzerinde bir çukur oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür. Atomik değişim ferrit ve karbonun iki yönlü transferi ile oluşur. Ferrit çelikten takıma transfer olurken küçük olan ve demirde harekete hazır karbon talaşa nüfuz eder [12, 10] .

Oksidasyon aşınma

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve kobaltta talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla beraber “alüminyum oksit” gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidir. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş derinliğinde) hava talaş kaldırma sürecine katılma imkânı elde eder. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına

sebepe olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında yaygın olmayan bir durumdur [12, 10].

Yorulma ile aşınma

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Kesintili kesme etkisi sürekli ısı oluşumu soğumaya ve aynı zamanda kesici kenara çarpmalarla darbelere sebep olur. Bazı takım malzemeleri yorulma mekanizmasına diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesme kuvvetleri, kesici kenarın mekanik dayanımı çok yüksek olduğunda sırf mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum sert ve işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleriyle işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hakimiyeti de söz konusudur [12, 10].

Adhezyon (yapışma) aşınma

Bu aşınma aynı zamanda “yıpranma aşınması” diye de bilinir. Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kopuk) talaş veren iş parçası malzemelerinin hepsinde (çelik – alüminyum ve dökme demir gibi) söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş oluşmasına sebep olur. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. Kenarda yığılmış talaş tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir. Bazı kesici malzemeleri ve bazı iş parçası malzemeleri örneğin sünek (özlü-çekilebilir) çelikler gibi bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar. Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme

kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınma mekanizması oluşturur [10].

Deformasyonla sertleşmiş malzemeler (örneğin östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum, en yaygın “çentik aşınma” tipidir ve aynı zamanda takım malzemesiyle iş parçası malzemesinin (kimyasal) yakınlığına (benzeşmesine) da bağlıdır [10].

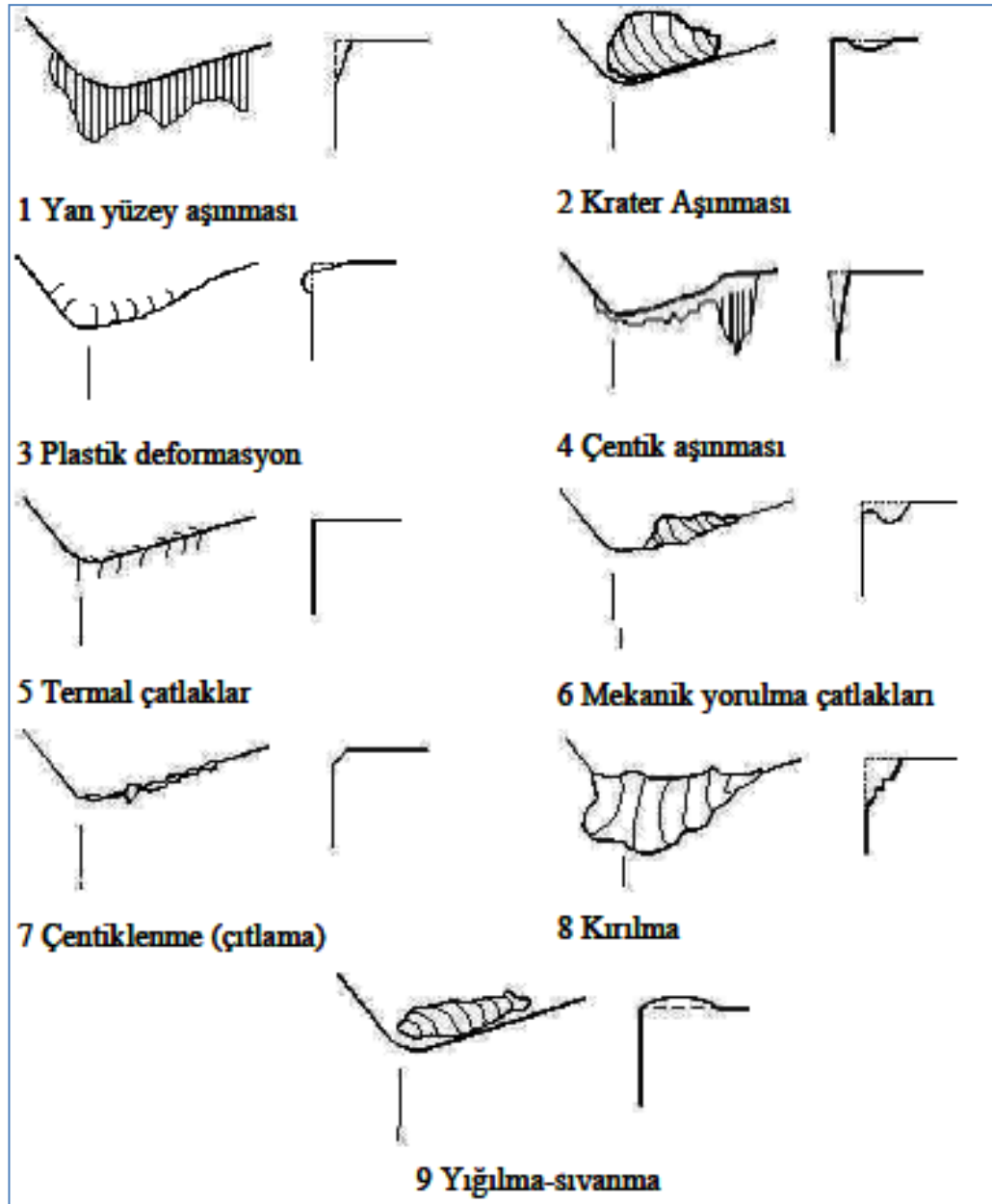
2.1.2. Aşınma-takım malzemesi ilişkisi

Bu temel mekanizmaları genellikle birleşerek, talaş kaldırma işleminde, kesici kenarın küçük bir kısmı boyunca biçimi ve orijinal malzemeyi değiştirmeye teşebbüs eder. Çoğunlukla takım malzemesinin özelliklerine bağlı olarak, bu mekanizmalar kesici kenarı belli bir aşınma tipinin oluşmasına sebep olacak şekilde etkiler. Bu mekanizmaların esasının anlaşılması takım aşınma tiplerinin analizini ve bir işlem için doğru takım ve doğru şartların oluşturulmasına yardımcı olur [10].

2.1.3. Takım aşınma tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi ve malzeme için doğru işleme şartlarının ve takım sınıfının (Grade) elde edilmesiyle verimliliği optimize etmek ve işleme operasyonunu değerlendirmek için en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel işleme kriterleri, talaş kaldırma miktarı, ekonomik hassasiyet, yüzey dokusu ve talaş kontrolü takım aşınmasının oluşup gelişmesine bağlıdır. Kesici kenarın büyütülerek incelenmesi ve aşınma biçiminin verdiği ipuçları doğrultusunda hareket etmek suretiyle kesici kenar için uygun bir takım ömrü kontrol edilebilir, artırılabilir ve emniyetli (güvenilir) hale getirilebilir. Herhangi bir işlem için daima en ideal bir aşınma tipi mevcuttur. Doğru takım, kesme parametreleri için uygun başlangıç değerleri uzman desteği, kişisel deneyimler, kalitesi yüksek iş parçası malzemesi, ve işleme şartları ideal aşınma gelişmesinin (oluşumunun) elde edilmesini sağlamak için en önemli bileşenlerdir [10].

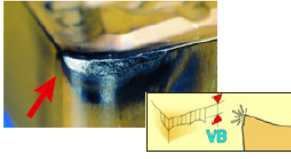
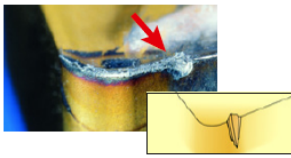
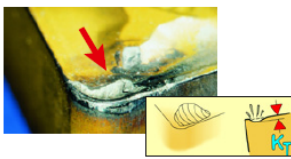
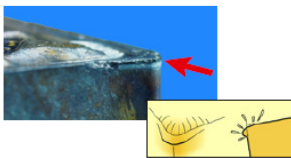
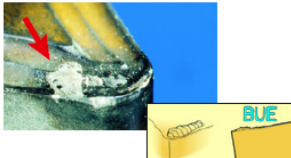
Daha evvel sözü edilen beş ayrı aşınma mekanizmasının biri veya bir kaç bir araya gelerek Şekil 2.2’de görülen aşınma tiplerini oluşturur [10].



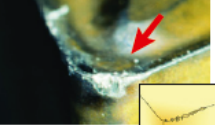
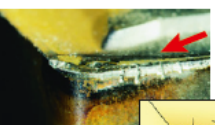
Şekil 2.2. Kesici takımlarda görülen hasar ve aşınma tiplerinin sınıflandırılması [10, 12]

Şekil 2.3’de tipik takım aşınmalarının çeşitleri, aşınma sebeplerini ve bunların çözümlerinin örnek resimlerle anlatıldığı kesici takım kataloğu bilgileri sunulmuştur. Takım aşınması tipleri ve muhtemel sebepleri Şekil 2.3’deki gibi tablolardan tespit

edilir, yine bu tablolardaki çözüm önerileri dikkate alınarak aşınmanın önlenmesi ya da azaltılması için tedbirler alınır.

Takım aşınması		Sebeup	Çözüm
 Serbest yüzey aşınması	a) Hızlı serbest yüzey aşınması, kötü yüzey kalitesi veya tolerans dışı ölçü oluşumuna sebep olur.	a) Çok yüksek kesme hızı veya yetersiz aşınma direnci.	Kesme hızını azaltın. Aşınmaya karşı daha dayanıklı bir kalite seçin. Bir Al_2O_3 kaplamalı kalite seçin. İşleme sonucu sertleşen malzemeler için daha küçük bir giriş açısı veya aşınmaya daha dayanıklı bir kalite seçin.
 Çentik aşınması	b/c) Çentik aşınması, kötü yüzey kalitesi ve kenar kırılma riskinin artmasına sebep olur.	b/c) Oksitlenme. b/c) Aşınma.	Bir sermet kalitesi seçin. Kesme hızını azaltın. (Isıl dirençli malzemeyi seramik ile işlerken kesme hızını artırın).
 Krater aşınması	Aşırı krater aşınması, kesici kenarın zayıflamasına neden oluyor. Bitiş kenarı üzerindeki kesme kenarı yarılmaları kötü yüzey kalitesine neden olur. Kesici uç kırılma riski.	Kesme yüzeyi üzerinde çok yüksek sıcaklık sebebiyle difüzyon aşınması meydana gelmiş.	Bir Al_2O_3 kaplamalı kalite seçin. Pozitif bir kesici uç geometrisi seçin. Daha düşük bir sıcaklık elde edebilmek için ilk olarak hızı düşürün, sonra ilerlemeyi azaltın.
 Plastik deformasyon	Plastik deformasyon. Kenar baskısı veya serbest yüzey etkisi. Kötü talaş kontrolüne ve kötü yüzey kalitesine yol açma. Kesici uç kırılmasına yol açan aşırı serbest yüzey aşınması riski.	Yüksek bir basınç ile birleşen çok yüksek kesme sıcaklığı.	Plastik deformasyona daha dayanıklı daha sert bir kalite seçin. Kenar baskısı – ilerlemeyi azaltın. Serbest yüzey etkisi – hızı azaltın.
 Talaş yığılması (B.U.E.)	Kötü yüzey kalitesine neden olan talaş yığılması ve yığılma ağzı koparken kesme kenarından tanecik kopması..	İş parçası malzemesi aşağıdakilere bağlı olarak kesici uca kaynaklanır. Çok düşük kesme hızı. Negatif kesme geometrisi. Yapışkan iş parçası malzemesi.	Kesme hızını artırın veya yoğun bir şekilde soğutun. Pozitif bir geometri seçin. Kesmenin başlangıcında ilerlemeyi azaltın. İnce kaplamalı bir PVD kalitesi ve pozitif bir geometri seçin.

Şekil 2.3. Takım aşınma şekilleri, sebepleri ve çözümleri [13].

	Sebeup	Çözüm
 Talaş çekiçlenmesi	Kesme kenarının kesme yapmayan bölümü, talaş darbe-leriyle zarar görür. Kesici ucun hem üst tarafı hem de desteği zarar görebilir.	Talaşlar, kesme kenarına karşı çevrilir. İlerlemeyi değiştirin. Alternatif bir kesici uç geometrisi seçin veya daha tok bir kaliteye değiştirin.
 Tanecik kopması	Kötü yüzey kalitesine ve aşırı serbest yüzey aşınmasına neden olan küçük kesme kenarı kopmaları (tanecik kopması).	Kalite çok kırılgan. Kesici uç geometrisi çok zayıf. Talaş yığılması. Daha tok bir kalite seçin. Daha güçlü bir geometrisi (seramik kesici uçlar için daha büyük pah kırma) olan bir kesici uç seçin. Kesme hızını artırın veya pozitif bir geometri seçin. Kesme hızını ve kesme sıvısını azaltın. Kesmenin başlangıcında ilerlemeyi azaltın.
 Termal çatlaklar	Tanecik kopmasına ve kötü yüzey kalitesine neden olan kesme kenarına dik doğrultuda küçük çatlaklar.	Aşağıdakiler nedeni ile oluşan sıcaklık değişikliklerine bağlı olarak termal çatlaklar: - Darbeli işleme. - Değişken kesme sıvısı beslemesi. Çatlak yayılmasına karşı daha dayanıklı olan daha tok bir kalite seçin. Kesme sıvısı ya bol miktarda uygulanmalıdır ya da uygulanmamalıdır.
 Kesici uç kırılması	Sadece kesici uca değil aynı zamanda altlık ve iş parçasına da zarar veren kesici uç kırılması.	Kalite çok kırılgan. Kesici uç üzerinde aşırı yük. Kesici uç geometrisi çok zayıf. Kesici uç ölçüsü çok küçük. Daha tok bir kalite seçin. İlerlemeyi ve/veya talaş derinliğini azaltın. Daha güçlü bir geometri seçin; tercihen tek taraflı bir kesici uç. Daha kalın/geniş bir kesici uç seçin.
 Kesme kırığı - seramikler	Aşırı takım basıncı.	İlerlemeyi azaltın. Daha tok bir kalite seçin. Daha küçük pah kırmalı bir kesici uç veya kesme kuvveti yönünü değiştirmek için başka bir geometri seçin.

Şekil 2.3 (Devam) Takım aşınma şekilleri, sebepleri ve çözümleri [13].

Yan yüzey (yanak) aşınması

İsminden de anlaşılacağı gibi kesici kenarın yan yüzeylerinde (yanaklarında) genellikle abrazif aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Serbest kenarlar (kılavuz ve yardımcı serbest kenarlar) ve uç yarıçapı veya bu yarıçapa paralel olan talaş oluşumu sırasında ve sonrasında iş parçası ile temasa maruz kalmaktadır. Bu tip aşınma genelde karşılaşılabilecek en normal aşınma tipidir ve genellikle emniyetli-sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Aşırı yanak aşınması sonucu, daha kötü yüzey dokusu ve hassasiyetten sapma söz konusu olur. Kesici kenar şekil değiştirdiğinden dolayı sürtünme artar [10].

Krater aşınması

Krater aşınması veya çukur aşınma olarak bilinen aşınma tipi, talaş yüzeyinde abrazif ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur. Krater, ya sert parçacıkların taşlama (aşındırma) etkisiyle veya takım ile talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle takım malzemesinin talaş yüzeyinden ayrılmasıyla şekillenir. Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler (takım-iş) arasındaki minimum kimyasal yakınlık krater aşınması eğilimini de minimize eder [10].

Aşırı krater aşınması, kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş oluşumunu, biçimlenmesini bozabilir. Kesme kuvvetlerinin doğrultularının değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatır [10].

Plastik deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcak ve basınç anlamı taşır [10].

Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşınca kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın (uç yarıçapı) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynar [10].

Çentik aşınması

Yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adhezif (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüyebilir. Çentik, kesici kenar ile parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Aşınma, havanın kesme bölgelerine dahil olduğu, kesmenin ucunda (talaş derinliğinin son noktasında) oldukça bölgesel olarak oluşur. Kılavuz (asıl) kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşında yüzey dokusunu (yüzey pürüzlülüğü) etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır [10].

Termal ısıl çatlaklar

Termal çatlaklar, çoğunlukla termal çevrimlerden (ısıl değişikliklerden) kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Özellikle, frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak ortaya çıkar ve bu çatlaklar arasındaki takım malzemesi kesici kenardan koparak ayrılabilir. Takım malzemesi parçacıklarının kenardan kendiliğinden ayrılması, takımın kırılma ihtimalini hızlandırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur. Aynı zamanda değişen talaş kalınlığı da talaş kaldırma sırasında sıcaklıkları etkiler. Bu tip problemlerde soğutma suyu uygulaması, metallerden talaş kaldırma işlemlerinde, genellikle zararlı olabilir. Çünkü soğutma suyu, talaş kaldırma esnasındaki (kesici parça içinde) ve talaştan çıktıktan sonraki (kesici parçayı terk ettikten sonra) sıcaklık farklarını daha da arttıracaktır [10].

Mekanik yorulma çatlakları

Mekanik yorulma çatlakları, kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğunda oluşur. Kuvvet kendi kendine kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla beraber, yükteki sürekli değişim sonucu oluşan kırılmalardır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetindeki değişimlerde bu çatlaklar büyüyebilir ve yönü kesici ucun dayanımı ve tokluğu için çok büyük olabilir. Bu tip çatlaklar, termal çatlaklardan farklı olarak, genellikle kesici kenara paraleldir [10].

Çıtlama (çentiklenme)

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenar hattındaki küçük boyutlu kırılmalardır. Yükleme ve yükün kaldırılmasından kaynaklanan bu yorulma kesici takım malzemesinden küçük parçacıkların takım yüzeyinden ayrılmasına sebep olur. Çoğunlukla, kesikli (darbeli) çalışma bu tip aşınmaya sebep olur. Kenardaki aşınmanın, çentiklenmeye mi yoksa yanak aşınmasını mı gösterdiği çok dikkatli incelenmelidir. Çentiklenme veya parçacık kopmaları (parçalanma) bu tip kenar kırılmalarının çeşitlerindendir [10].

Kırılma

Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Önceden oluşan şişkinliğin kırılması en tehlikelisi olup mümkün olduğunca bundan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri pek çok kesici kenar hatalarına zemin hazırlayacaktır. Ağır kesme şartlarında (kesme parametrelerinin büyük olması) oluşan veya iş parçası malzemesinden kaynaklanan ani kırılmaların sebep olduğu gevrek kırılma, çalışma taleplerini (ihtiyaçlarını) karşılamaya muktedir olmayan bir takım malzemesi üzerindeki değişik gerilmelerin bir sonucu olabilir [10].

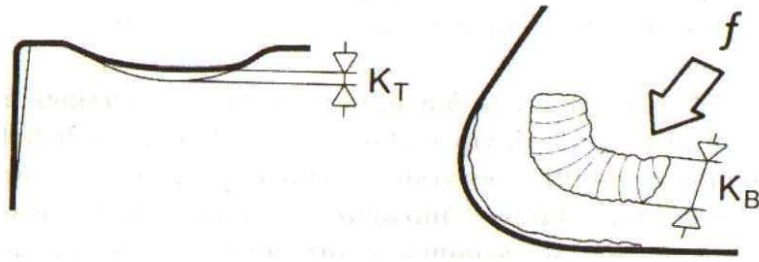
Kesici kenarda yığılma (BUE)

Kesici kenarda yığıntı talaş (YT) oluşması, genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızının etkisindedir. Ancak, kesici kenar erimesi ve diğer aşınmaların bir sonucu olabilir. YT kesici kenar geometrisinde negatif bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi YT biçimindeki kaynaklanmış malzeme ile birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesiyle iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de YT oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar iş malzemesinin talaştan takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına (adhezyon) sebep olur. YT oluşumu için sıcaklık – kesme hızı ilişkisini veren bölgeler nispeten iyi tanımlanmış olduğunda YT oluşumundan sakınmak mümkün olabilir. Modern işleme metotlarının çoğu, YT oluşan alanın üstünde kesme hızlarında yer alır ve doğru kullanıldığında YT oluşmasına çok meyilli olmayan modern takım sınıfları mevcuttur. Yüzey pürüzlülüğü YT oluşumundan genellikle ilk zarar gören unsurdur. Ancak bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse, çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski vardır [10].

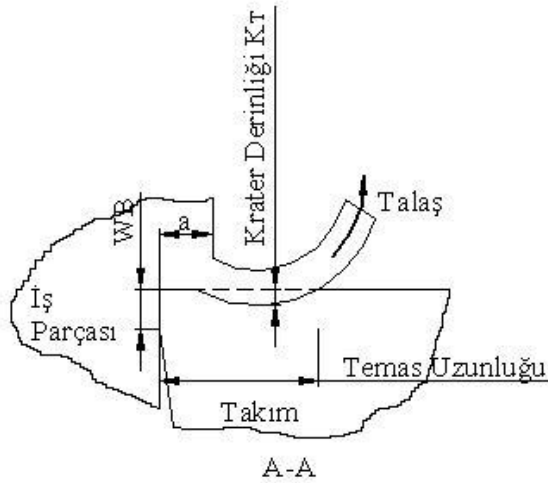
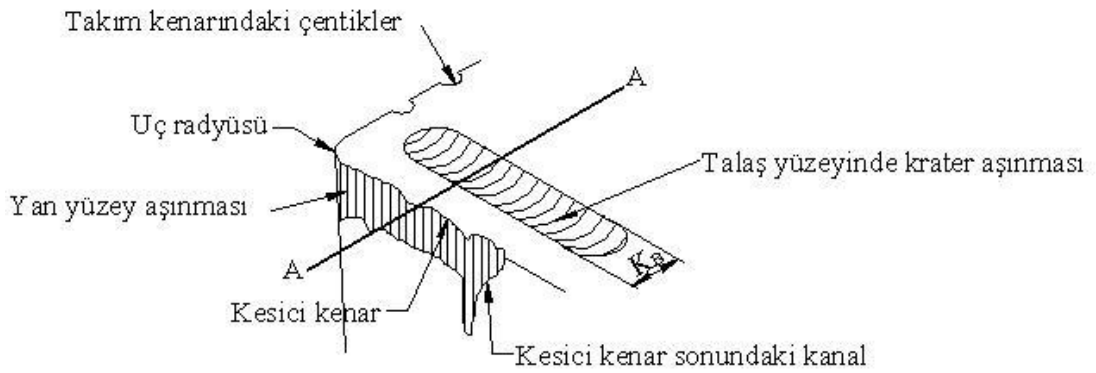
2.1.4. Takım aşınmasının kontrolü (belirlenmesi)

Takım aşınması, aşınma gelişimini sürdürürken, aşınma bölgesinin bir büyüteç altında incelenmesiyle belirlenir ve bu inceleme aşınma kriterinin belirli bir değeri aşmasına dek sürdürülür. Serbest yüzey aşınması kesici kenar üzerinden ölçülür (Şekil 2.4). Aşınma üç bölge üzerine üniform olarak yayılmışsa, serbest yüzey aşınması olarak ortalama bir değer alınır ($VB_{a,c}$). Ancak herhangi bir bölgede aşırı bir aşınma söz konusu ise aşınma değeri olarak VB_{maks} kullanılır [10, 12].

Krater aşınması ise kraterin derinliği (K_T) ile belirlenir, bazı durumlarda krater genişliği K_B değeri de dikkate alınır (Şekil 2.4) [10, 12].



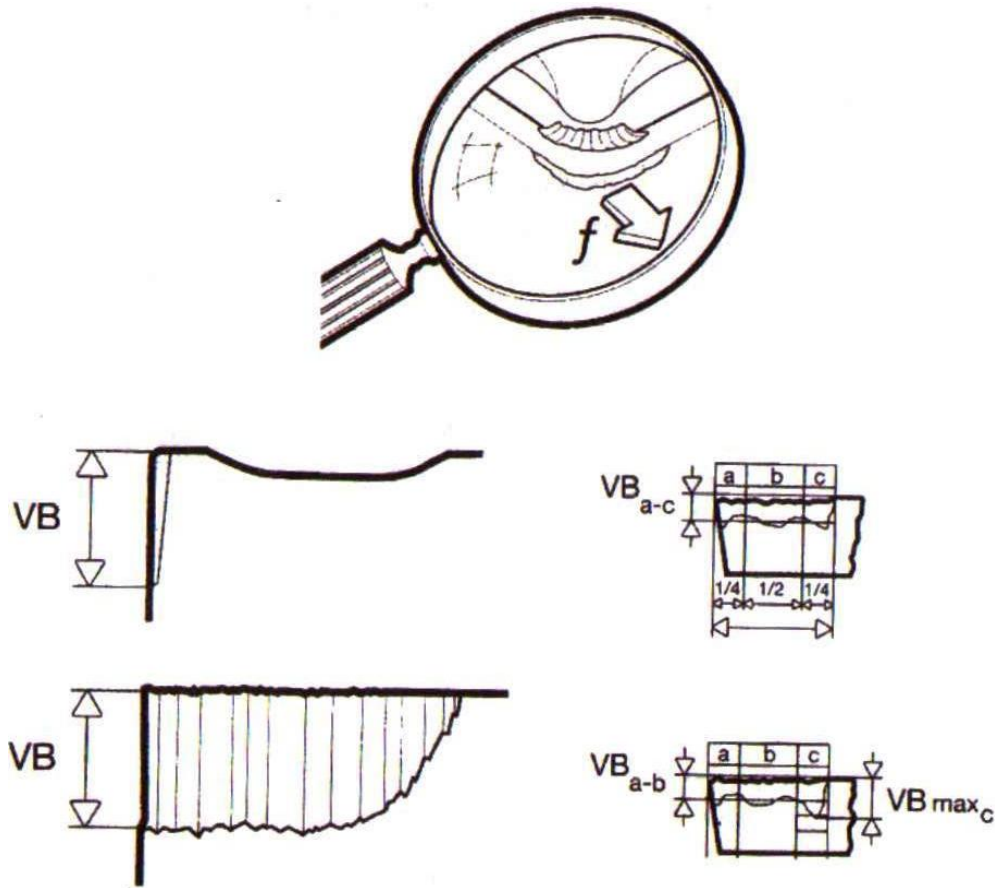
Şekil 2.4. Krater aşınması [10, 12].



Şekil 2.5. Çeşitli aşınma tipleri ve bunların analizinde esas alınan boyutlar [10]

Takım aşınması, belli bir seviyeye ulaşmadan önce geçen işleme zamanına bağlı olarak geliştiğinde, muayene ve kontrol yöntemleriyle belirlenir. Uygun bir mikroskop veya büyüteç en yaygın kullanılan kontrol aletleridir Şekil 2.5'te çeşitli aşınma tiplerinin analizi için esas boyutlar görülmektedir. Yan yüzey aşınması asıl kesme kenarından ölçülür. Ölçüm yapmak için aşınan kısım üç bölgeye ayrılarak

incelenir. Toplam uzunluk dört eşit parçaya bölünür ve $1/4$ 'lük kısımlar iki başta ve $1/2$ 'lik kısım ortada kalacak şekilde üçe ayrılarak analiz yapılır (Şekil 2.6). a,b,c olarak ayrılan bu bölgelerin üçünde aşınma değeri benzer bir dağılım gösteriyorsa yan yüzey aşınması bu üç bölgenin ortalaması olarak "VB a-c" şeklinde alınır. Eğer bu üç bölgenin birinde aşırı bir yanak aşınması söz konusu ise, ortalama değerin alınması için bu bölgenin göz ardı edilmesi tavsiye edilir ve ortalama değer iki bölgeye göre alınır (VB a-b). Ayrıca, maksimum aşınmanın olduğu bölge ayrı olarak ele alınarak maksimum yanak aşınması da kaydedilir [10].



Şekil 2.6. Serbest yüzey aşınması [10, 12]

2.1.5. Talaş kaldırmada ısı oluşumu

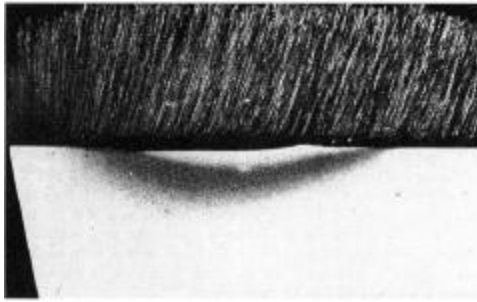
Talaş kaldırmak için uygulanan kuvvetlerden oluşan mekanik enerjinin hemen hemen tamamına yakın bir kısmı ısıya dönüşür. Bu sebeple kesme bölgesinde kesme

bölgesinde ısı oluşumu ve sıcaklık talaş kaldırma işlemindeki diğer bir önemli faktördür. Bu faktör takım performansı ve iş parçası kalitesi açısından büyük önem taşır [10].

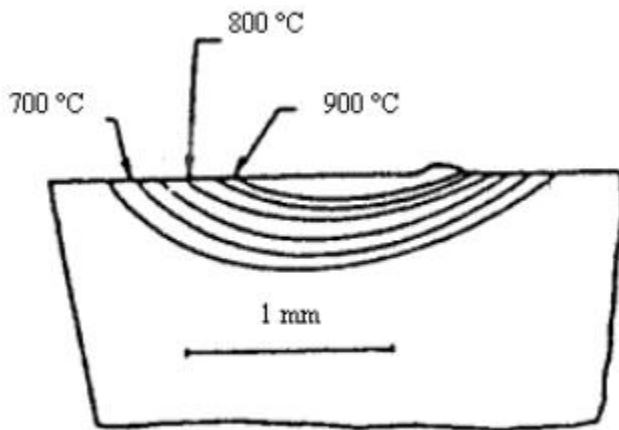
Aşırı sıcaklıklar; öncelikle yetersiz takım ömrüne ve yüksek kesme hızlarında sınırlamalara neden olur.

Şekil 2.7 oldukça düşük karbonlu çeliğin yüksek hızlarda işlenmesi sırasında ısıdan etkilenmiş bölgeleri, Resim 2.1’de yapıdaki değişiklikleri göstermektedir [10].

Kesici takımdaki maksimum ısınma Şekil 2.7’de görüldüğü gibi en uçta değil takım ucunun biraz daha arka kısımlarında oluşmaktadır.



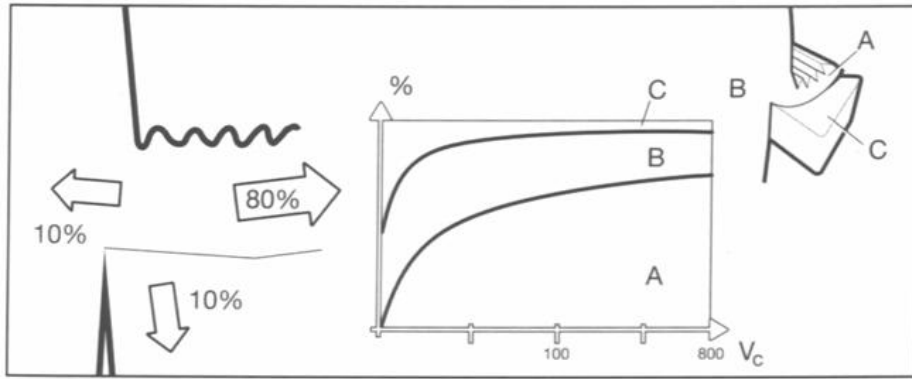
Resim 2.1. HSS kesici takımda dağlama yöntemi ile elde edilen eş sıcaklık dağılım eğrileri [10, 14]



Şekil 2.7. HSS kesici takımda dağlama yöntemi ile elde edilen eş sıcaklık dağılım eğrileri [10, 14]

İşleme esnasında oluşan ısı, büyük bir bölümü talaş ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, talaşın kesici takım ile temasta olduğu sürece, sadece kesici takımı etkileyecektir [12].

Şekil 2.8’deki grafikte görüldüğü gibi oluşan ısı, en büyük bölümü, % 80’e yakın kısmı “A” ile gösterilen malzemeden çıkan talaş ile atılmakta, % 10 ‘a yakın kısmı “B” ile gösterilen iş parçasına, %10’a yakın kısmı da “C” ile gösterilen kesici takıma yansımaktadır.



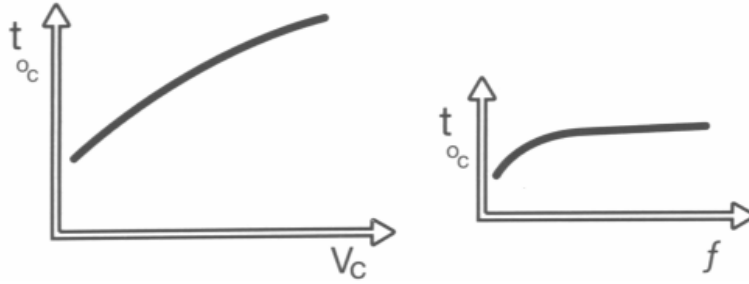
Şekil 2.8. Metal işlemede ısı dağılımı [10]

İşleme esnasında ortaya çıkan ısı, kesme kuvvetleri gibi işlenen iş parçası malzemesine göre farklılık gösterir. Kesme hızı ısı oluşumu üzerinde çok önemli bir rol oynar [12].

Şekil 2.9’da sıcaklık ile kesme hızı arasındaki ilişki görülmekte olup, kesme hızının artması ile oldukça yüksek artış gösteren sıcaklık ve dolayısıyla oldukça yüksek artış gösteren ısı oluşumu açıkça görülmektedir.

İlerlemenin ısı oluşumuna etkisi daha azdır [12]. Şekil 2.9’da sıcaklık ile ilerleme arasındaki ilişki görülmekte olup, ilerlemenin artması ile giderek azalan bir artış gösteren sıcaklık ve dolayısıyla ısı oluşumu açıkça görülmektedir.

Şekil 2.9'daki iki grafikteki artan sıcaklığın maksimum seviyelerine bakıldığında kesme hızının, ilerlemeye oranla ısı oluşumunda çok daha etkili olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.9. Sıcaklık / kesme hızı / ilerleme ilişkisi [10]

2.2.Kesici Takım Ömrü

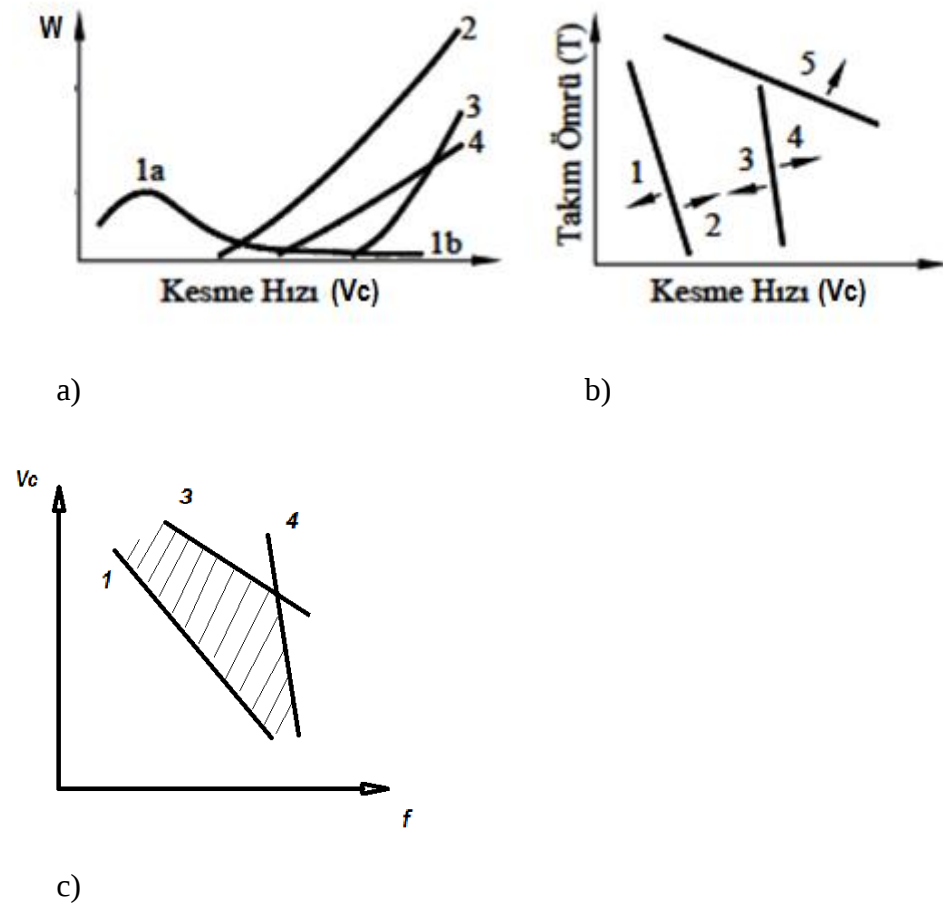
Kesici bir kenar için takım için takım ömrü kenarın, yapılması gereken bir işlemden belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken koşullar istenilen yüzey kalitesinin ve boyut hassasiyetinin sağlanması ve talaş kontrolüdür. Genellikle takım ömrü ucun veya kenarın kırılması ile sona erer. Ancak talaşlı imalatda modern takımların doğru uygulamalarda kullanılmaları sayesinde bu tip aşınmaya hiçbir zaman izin verilmez [12].

Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar, enerji sarfıyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiğini gösterir ve körleninceye kadar toplam işleme zamanına takım ömrü denilir. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımın kesme ucunda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar geçen talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür [15].

Şekil 2.10-a) Tungsten esaslı karbür takım malzemesi için aşınma gelişimini sembolize etmektedir. “1a” yığılma kenar oluşumunu, “1b” yüksek sıcaklıklar nedeniyle yüksek hızlarda yığılma kenar oluşumunun söz konusu olmadığı durumu,

“2” Abrasiv aşınmayı “3” difüzyon aşınmasını, “4” oksidasyon aşınmasını göstermektedir.

Daha farklı bir yaklaşım Şekil 2.10-b) diyagramında gösterilmiştir. Bu diyagramda kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün (T) sınırları verilmekte, Şekil 2.10-c) diyagramında kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak aşınma sınırları ve uygun çalışma alanı gösterilmektedir [12].



Şekil 2.10. Tungsten karbür için tipik aşınma eğrileri [12]

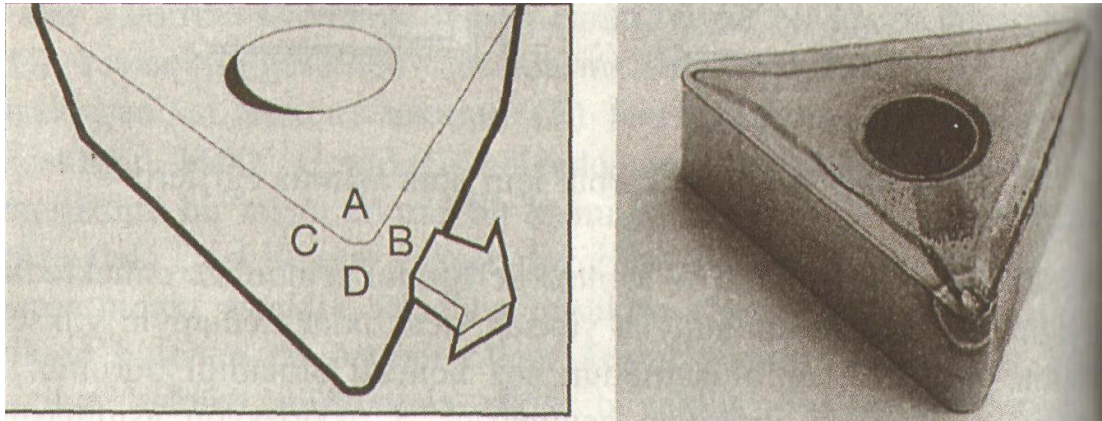
- a) Aşınma(W)-kesme hızı (V_c) b) Kesme hızı (V_c)-Takım ömrü (T)
c) Kesme hızı(V_c) – ilerleme (f)

Takım aşınmasının tiplerinin sınıflandırılması gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Bu durum, işlem ve iş parçası malzemesi için kalitesinin ve işleme koşullarının doğru

seçimi sayesinde gerçekleştirilir. İşleme kriterleri: talaş debisi, ekonomiklik, hassasiyet, yüzey kalitesi ve aşınma genişliğine bağlı olarak talaş kontrolüdür [10, 12].

Kesici kenarı bir büyüteç altında incelenmesi oluşan aşınma seklinin belirlenmesi suretiyle kesici kenar için takım ömrü en uygun şekilde kullanılmakta ve ömür uzamaktadır. Bir işlem için ideal bir aşınma gelişimi her zaman mevcuttur. Doğru kesici takım, kesme verileri için doğru başlangıç değerleri, uzman desteği, kendi tecrübemiz, kaliteli iş parçası malzemeleri ve işleme koşulları ideal bir aşınma gelişimi sağlamak için gerekli olan katkı malzemeleridir [10, 12].

Kesici bir kenar üzerinde takım aşınmasının söz konusu olduğu bölgeler (A talaş yüzeyi, B serbest yüzey, C yardımcı kesici kenara ait serbest yüzey, D köşe radyüsü) Resim 2.2’de gösterilmiştir [10, 12].



Resim 2.2. Kesici uç üzerindeki aşınma bölgeleri [10, 12]

2.2.1. Taylor’un takım ömrü modeli

Takım ömrü ile ilgili ilk araştırma 1900...1908 arasında F. Taylor tarafından yapılmış ve ilk olarak aşağıdaki gibi ifade edilen bir model ortaya konulmuştur. Bu modelde Taylor takım ömrünü (T), kesme hızı (V) ve ilerleme (f)’nin bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir [10].

$$T = \frac{Sabit}{f_x V_y} \quad (2.1)$$

Daha sonraki yıllarda bu eşitlik daha yaygın olarak bilinen aşağıdaki formunu almıştır.

$$VT^n = C \quad (2.2)$$

Burada n, öncelikle takım malzemesine bağlı, fakat aynı zamanda iş parçası malzemesinden, kesme şartlarından ve ortamdan etkilenen bir katsayı, C ise özellikle ilerlemeyi ihtiva eden tüm girdi parametrelerine bağlı bir sabittir. Aynı zamanda C takım ve parça malzemesine bağlı olan bir dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızıdır.

3. FREZELEME

Frezeleme, prensip olarak dönen çok uçlu bir takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Bu bölümde freze olarak anılacak kesici takımın birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir.

Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir. CNC kullanımı sayesinde kontur frezelemenin verimliliği de giderek artmaktadır.

Frezeleme; tezgâhlar, kontrol üniteleri ve kesici takımlardaki değişimler sonucunda giderek evrensel bir işleme metodu haline gelmektedir. Günümüzde işleme merkezleri frezeleme işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan tezgâhlardır. Bu tezgâhlarda çok sayıda farklı takıma gereksinim vardır. Frezeleme işlemi için yüzyılın başlangıcında kullanılmakta olan temel tip tezgâhlardan karmaşık, çok eksenli- CNC'lere değişim gösteren çok farklı tipteki tezgâhlar kullanılabilir.

Frezeleme işlemi sadece gerçekleştirilen işlem tipleri açısından değil aynı zamanda kullanılan tezgâh, takım ve işlenen iş parçası açısından da büyük farklılıklar gösterir. Sistemde mevcut tüm cihazların ve iş parçasının özellikleri işlemi önemli ölçüde etkiler. İşlem esnasında çeşitli sınırlamaların dikkate alınması gerekir [16].

Üretim talepleri ve parçanın teknik resmi kullanılacak takımın yapılacak işlemin tipini belirler. Tezgâh ve kesici takımlardaki gelişmeler, frezeleme olanaklarını önemli ölçüde iyileştirdiğinden geleneksel metotların her zaman sorgulanmaları gerekir. Gerçekleştirilmek istenen işlem tipinin detaylı olarak ele alınması ve işlem için modern bir çözümün araştırılması çok büyük bir olasılıkla talaş kaldırma işleminin çok daha kısa bir sürede yapılmasını sağlayacak, daha iyi sonuçlar elde

edilecektir. Bunun yanı sıra talaş kaldırma işleminin bir işlemde tamamlanıp tamamlanamayacağını da göz önünde bulundurulması şarttır.

Bir parçanın frezelenmesi için işlem planı hazırlanırken atılması gereken bir sonraki adım uygun tezgâhın seçimidir. Seçim yatay dikey, universal, sayısal denetimli tezgâhlar ve işleme merkezleri arasından yapılır. İşlem için hangi tezgâhın uygun, mevcut ve en iyisi olduğu önemlidir. İşlem parametrelerinin ve tezgâh kapasitesinin değerlendirilmesi aşamasında rijitlik, hassasiyet ve yüzey kalitesi gibi faktörlerin de dikkate alınması gerekir. Talaşlı imalatla sadece kalite açısından değil, tezgâh ve takım ne kadar iyi olursa olsun, takım ömrü ve toplam performans açısından da en büyük tehlike rijitlik eksikliğidir [16].

3.1.Frezeleme İşleminde Talaş Kaldırma

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. Freze tezgâhında talaş kaldırma işlemi, kullanılan kesici takımın çeşidine ve frezeleme yönüne göre adlandırılırlar. Genel olarak frezeleme işlemi ile talaş kaldırma yöntemini dört ana başlık altında incelenebilir:

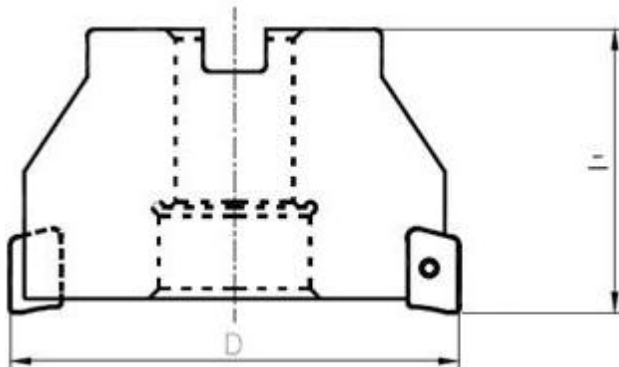
- i. Silindirik vals freze çakısı ile çevresel frezeleme
 - a) Aynı yönlü çevresel frezeleme
 - b) Zıt yönlü çevresel frezeleme
- ii. Takma uçlu alın freze çakısı ile düzlem yüzeylerin frezelenmesi
 - a) Simetrik frezeleme
 - b) Asimetrik frezeleme
- iii. Form ve biçim freze çakısı ile frezeleme
 - a) Modül freze çakısı ile frezeleme
 - b) Değişik geometrilere sahip iç bükey ve dış bükey yüzeylerin frezelenmesi

iv. Saplı freze çakısı ile frezeleme

- a) Parmak uçlu freze çakısı ile frezeleme
- b) Küresel uçlu freze çakısı ile frezeleme [17].

3.1.1. Alın frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

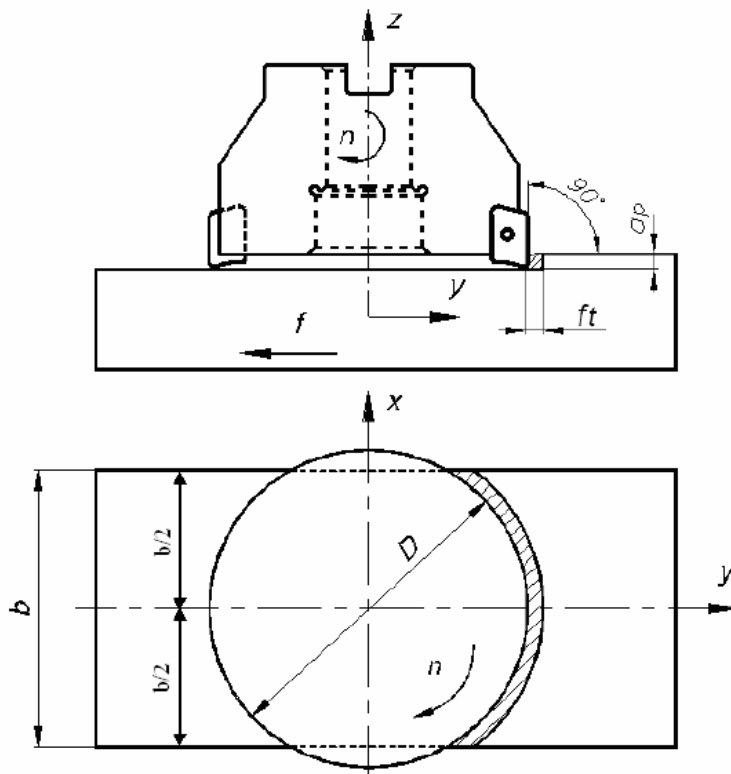
Freze çakısının, alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezeleme işlemine “alın frezeleme” denir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Burada kesme işleminin büyük bir kısmı, çevredeki kesici ağızlar tarafından yapılır. Alın yüzeydeki kesici ağızlar ise ince talaş işleme etkisi gösterirler. Silindirik alın freze çakıları ve takma uçlu alın freze çakıları ile düzlem yüzeyler işlenmeden önce iş mili diklik kontrolünün yapılması gerekmektedir. Silindirik alın freze çakıları, yüksek hız çeliğinden (HSS) bir bütün olarak imal edildiği gibi sert maden takma uçlu kesiciler sinterleme yöntemi ile imal edilir. Sinterleme yöntemi ile imal edildikten sonra, kaplama yöntemleri ile kaplanarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Sert maden kesici uçlar tutucu şaftın etrafına mekanik sıkmalı veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetrik yöntemle talaş kaldırılır. Sert maden kesici ucun mekanik sıkma yöntemi ile şafta bağlanması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kesici uçların tutucuya yerleştirilmesi

3.1.2. Simetrik frezeleme yöntemi

Alın frezeleme çakısı ile Şekil 3.2’de görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır. Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir [17].

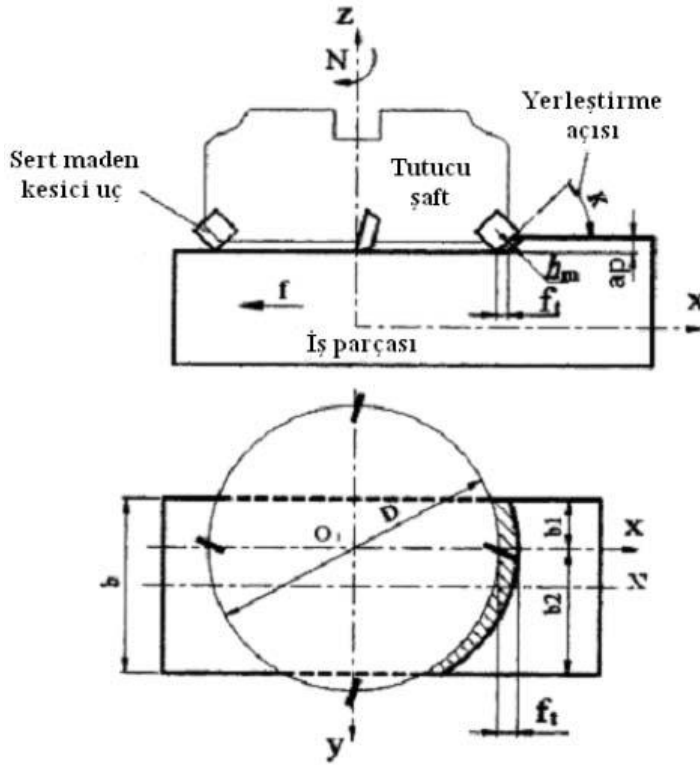


Şekil 3.2. Simetrik alın frezelemenin gösterilişi [17]

3.1.3. Asimetrik frezeleme yöntemi

Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmıyor ise bu frezeleme yöntemine “asimetrik frezeleme yöntemi” denir. Şekil 3.3’te görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır.

Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenecek iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [17].



Şekil 3.3. Asimetrik frezelemenin gösterilişi [17]

3.1.4. Çevresel frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma

Çevresel frezeleme yöntemi, freze çakıların çevresindeki kesici uçların, talaş kaldırma işlemidir. Talaşlar kıvrık, virgül biçiminde ve talaş kesiti sürekli değişmektedir [17].

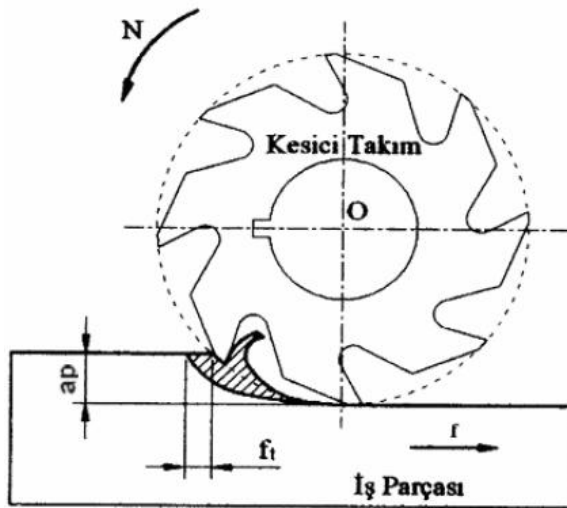
Kesici takım iş miline uzun malafalar yardımı ile bağlanır. Kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırılacak yüzey paralel konumundadır. Kesici takımın dönmesiyle ve iş parçasının X, Y ve Z ekseninde belirlenen yönde ilerletilmesiyle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te çevresel frezeleme şematik olarak gösterilmiştir [17].

3.2.Eş (Aynı) Yönlü Frezeleme

Aynı yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü ve iş parçasının ilerleme yönü

aynı yöndedir. Freze çakısının iş parçasına batması esnasında, talaş kalınlığı en yüksektir. Virgöl şeklinde talaşın meydana gelmesi esnasında talaş kalınlığı ile beraber kesme kuvveti de azalır. Bu nedenle; son şekil verme frezeleme işleminde saplı freze çakıları ile iyi bir yüzey elde edilir. Aynı yönlü frezeleme işlemi avantajlıdır ve zıt yönlü frezelemeye göre daha ekonomiktir. Fakat aynı yönlü frezeleme yapabilmek için, freze tezgâhlarının boşluğu olmayan tabla miline sahip olması gerekir [17].

Bu metotla, frezeleme işlemlerinde iş parçasının ilerlemesi, freze çakısının dönüş yönü doğrultusundadır. İş parçasını, her dişin kaldıracağı belirli miktarda talaşa üstten girerek, çok talaştan az talaşa doğru bir kesme yapar. Kesme sırasında dişler, talaşı üstten kavradığından, işi bağlı olduğu tablaya (mengene, masa, bağlama kalıbı v.b) doğru bastırmaya çalışır. İşin sökülmemesi bakımından iyidir. Normal ilerleme yapılırken, kesici dişlerin kaldıracağı bir devirdeki miktar bellidir. Bu miktarı dişler, işin yüzeyinde en büyük değerden, işlenmiş yüzeyde sıfır olacak biçimde kaldırır. Freze çakısı, çok talaştan az talaşa giderken başlangıçta bağlı olduğu mili esnetmeye çalışırsa da, talaş azalarak bittiğinden, düzgün olarak dönen çakı, pürüzsüz bir yüzey çıkarır. Şekil 3.4'te aynı yönlü çevresel frezeleme yöntemi gösterilmektedir [17].

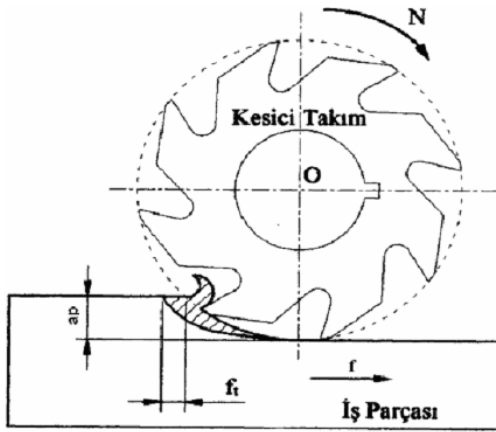


Şekil 3.4. Aynı yönlü çevresel frezelemenin gösterilişi [17]

3.3.Zıt Yönlü Frezeleme

Zıt yönlü frezelemede, freze çakısının kesme yönü iş parçasının ilerleme yönüne karşı yönlendirilmiştir. Talaş meydana gelmeden önce kayar ve kesici ağız iş parçasının yüzeyinde kazıma yapar. Bundan dolayı; freze çakısının kesici ağızlarının serbest yüzey aşınması tipik bir aşınma şeklidir. Kesici ağızların malzemeyi kavrama yolu üzerinde talaşın kalınlığı ve kesme kuvveti büyür. Virgül şeklinde bir talaş meydana gelir [17].

Bu metotla frezeleme esnasında çakı iş parçasını boyuna itmeye ve tabladan yukarıya doğru kaldırmaya çalışır. Kesme sırasında talaş kalınlığı parçanın üst yüzeyine doğru, düzgün olarak artacağından freze çakısında bir zorlanma meydana gelir. Freze çakısındaki bu zorlanma malafa milini esnetmeye çalışır. Dolayısı ile iş parçasının yüzeyi, ilk bakışta görülmeyecek kadar dalgalı olur. İş parçasının bağlı bulunduğu aparatın yukarıyı zorlamaması için, emniyetli bir şekilde sıkılması gerekir [17].



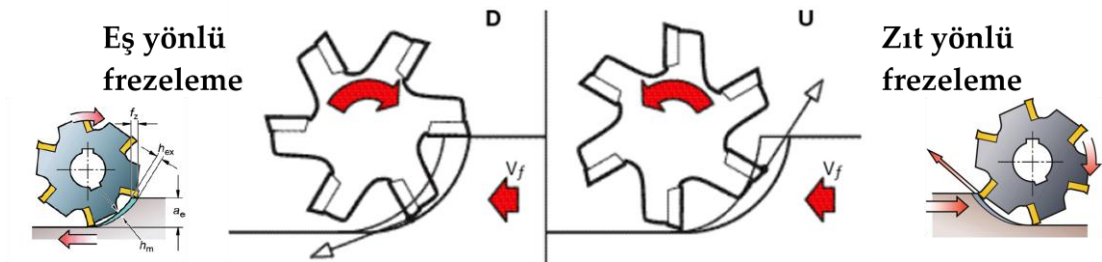
Şekil 3.5. Zıt yönlü frezelemenin gösterilişi [17]

Tezgâh tabla mili somunu arasındaki boşluklar talaş kaldırmayı ve ilerlemeyi etkilemez. Kuvvete karşı kuvvetle dönen çakı, titreşimsiz bir kesme yapar. İlerleme durdurulduğunda, çakı da olduğu yerde döner. Bu anda işlemeye devam edilmediği gibi bir tehlike de mevcut değildir. Ancak; iş parçası üzerinde yüzey kalitesi açısından, kesici takım boşa döndürülmemelidir [17].

3.4.Eş Yönlü Frezelemenin ve Zıt Yönlü Frezelemenin Birbirlerine Göre Avantaj ve Dezavantajları

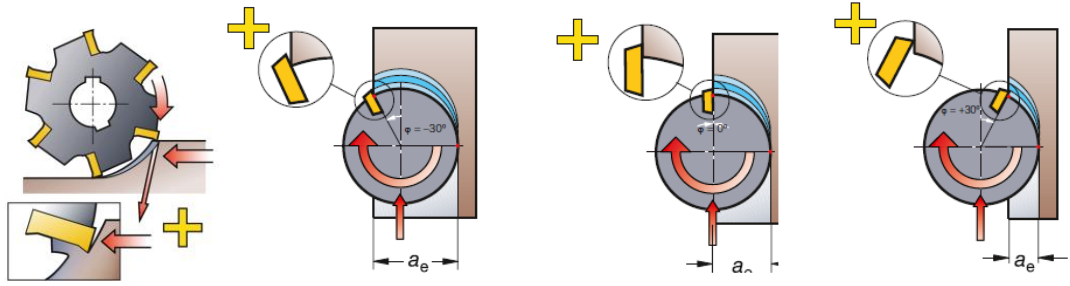
Her iki yöntemde de Şekil 3.6’de görüldüğü gibi frezeleme işlemi sırasında kaldırılan talaş virgül şekline benzer ve talaş kesiti, talaş boyunca değişir.

- Eş yönlü frezelemede freze çakısının dişi başlangıçta en büyük derinlikte talaş kaldırır talaşın sonuna doğru bu kalınlık sıfıra düşer (Şekil 3.6). Zıt yönlü frezelemede ise kesme süresince kalınlık gittikçe artar.
- Eş yönlü frezelemede *talaş kalınlığı ve dolayısıyla kesmeye karşı direnç kesmenin başlama noktasından bitim noktasına doğru kademeli olarak azalmaktadır* (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Eş yönlü - zıt yönlü frezelemenin karşılaştırılması

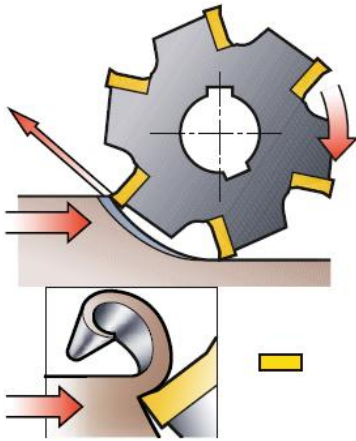
- Eş yönlü frezelemede uçun *kesme kenarının* iş parçasına *sürtünmesi* zıt yönlü frezelemeye göre *daha az olmaktadır* (Şekil 3.6). Zıt yönlü frezelemede kesici uç iş parçasına ilk girişte batma işlemi gerçekleşene kadar sürtünme oluşmakta, eş yönlü frezelemede ise kesici ucun iş parçasına girişinde sürtünme meydana gelmemektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Eş yönlü frezelemede kesici ucun iş parçasına çeşitli giriş konumları

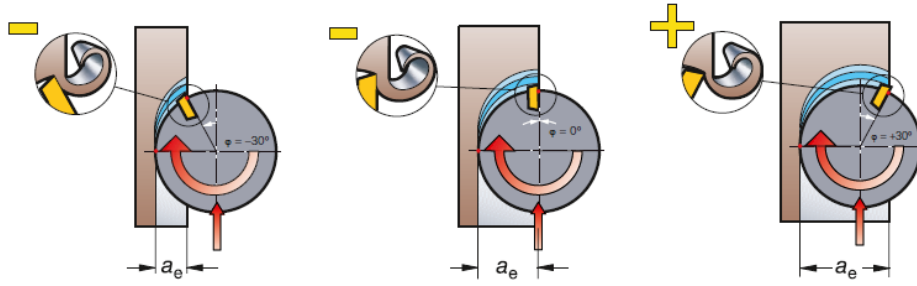
- Zıt yönlü frezelemede iş parçasından çıkış, üç kesme bölgesinden en hassas olanıdır (Şekil 3.8).

Karbür kesme uçları kullanılırken *kalın bir talaş çoğu kez takım ömründe ciddi bir azalmaya sebep olacaktır. Talaş, kesiminin final noktasında destek eksikliği duyar ve bükülmeye çalışır, buda kenar üzerinde bir kopmaya neden olabilecek şekilde karbürün üzerinde bir gerimle kuvveti yaratır* (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Zıt yönlü frezelemede kesme sonu takımın iş parçasından çıkış anı

Şekil 3.9'da zıt yönlü frezelemede iş parçasının genişliğine göre kesici ucun kesme işlemi sonucu iş parçasından muhtemel çıkış konumları görülmektedir.



Şekil 3.9. Zıt yönlü frezelemede kesme sonu iş parçasından çeşitli çıkış konumları

- Zıt yönlü frezelemede *çıkışta büyük talaş kalınlığı* ve daha yüksek sıcaklık bazen *batmalara* veya *kesme ucu üzerinde kaynaklanmalara* sebep olacaktır. Böylece bir sonraki kesmenin başladığı bölge civarına onları taşıyacak veya geçici olarak ucun parça parça (azar azar) harcanmasına sebep olacaktır.
- Sert metal kesici uçlarda kaplama sonrası keskin köşe oluşmaması zıt yönlü frezelemede olumsuz bir durumdur. Öte yandan, takma uçlu sert metal kesici takımların uç geometrileri de minimum bir talaş derinliğine (özellikle kaplama sonrası mutlak keskin köşe oluşmaması nedeniyle) ihtiyaç duymaktadır. Yani takma uçlu sert metal uçlar talaşa sıfır yüzeyden batması istendiğinde keskin kenara sahip olmadığından zorlanma yaşanması muhtemel bir durumdur.

Batma işlemi başlangıçtaki talaş kalınlığı sıfır olan zıt yönlü frezelemede randımanlı bir şekilde sağlanamamaktadır.

3.5.Frezelemede Temel Parametreler

Kesme hızı

Kesicinin malzemesine, iş parçasının malzemesine, işleme metoduna (örneğin kaba veya ince işleme), tezgâh ve iş parçasının rijitliğine bağlı olarak seçilir. Kesme yönü, talaş kalınlığı ve bunlara bağlı olarak kesme kuvveti, talaş kaldırma esnasında devamlı değişir.

İlerleme hareketi

İlerleme f , freze çakısının her dönüşündeki ilerleme yoludur. Bu, diş başına ilerleme (f_z) ile kesici dişlerin sayısının (Z) çarpımıdır.

Kesme Derinliği Ve Kesme Genişliği

Kesme genişliği ve/veya kesme derinliği a_p , freze çakısının iş parçasını kapladığı genişlik ve/veya derinliktir. Yatay frezelemede kesme genişliği, dikey frezelemede kesme derinliği olarak dikkate alınır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi

Deneyde 40×40 mm kesitli kare profilli AISI 304 soğuk çekilmiş paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. CNC tezgahın tablasına uygun şekilde bağlanabilmesi ve kolayca taşınabilmesi için testere tezgâhında 400 mm boyunda parçalar halinde kestirilmiştir.

Çizelge 4.1’de kullanılan malzemenin sertifikasından çeşitli teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertifika bilgileri

% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% Co	% N ₂
0,0330	1,500	0,440	0,0230	0,0360	18,17	8,040	0,570	0,330	0,140	0,08000
0,2 % akma dayanımı		Çekme dayanımı		Uzama%		% Alan daralması		Sertlik HB		
632,0		734,0		41,0		71,0		212,0		

4.2. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular

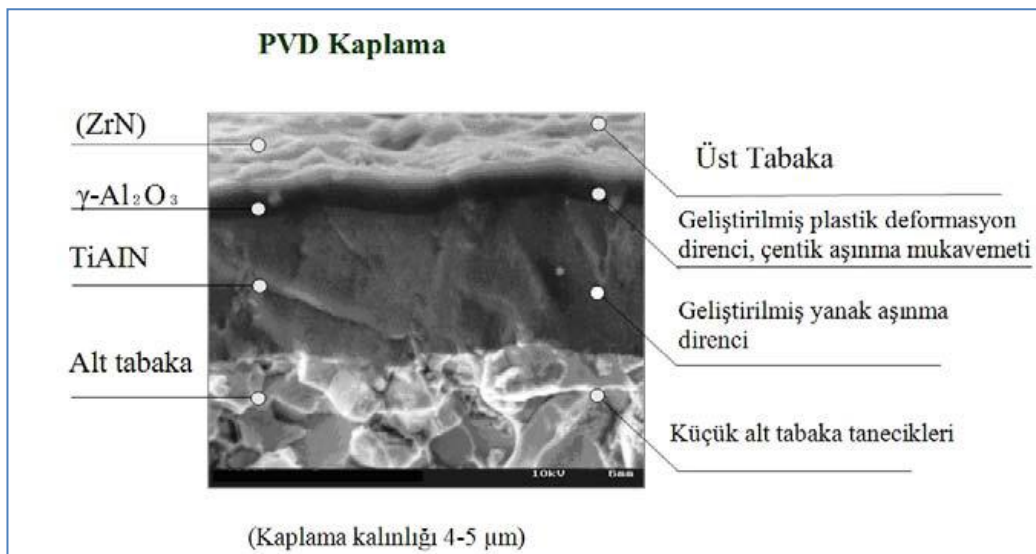
Deneylerde ISCAR marka H490 F90AX D040-4-16-09 kodlu takma uçlu freze kafası, buna uygun malafa ve yine ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR kodlu IC830 kalite sınıflı PVD kaplamalı sert metal uçlar kullanılmıştır.

Resim 4.1’de deneylerde kullanılan PVD kaplamalı paslanmaz çelik kesmeye uygun tasarlanmış 4 kesme kenarına sahip sert metal kesme uç görülmektedir. Her kesici kenarın numaralandırılmış olması deneylerde kolaylık sağlamıştır.



Resim 4.1. Deneyde kullanılan ISCAR marka H490 ANKX 120508PNTR-IC830 PVD kaplamalı sert metal uç

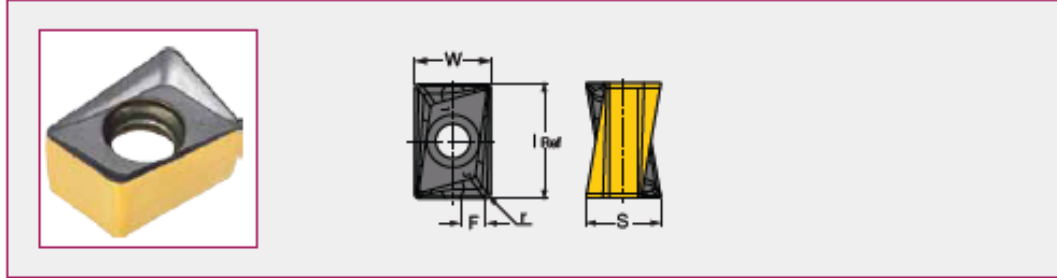
Şekil 4.1’de PVD kaplama katmanları görülmektedir. PVD; “Physical Vapour Deposition” kelimelerinin kısaltmasıdır. Sementit karpit uçlar için az kullanılan alternatif bir “Fiziksel Buhar Çökertme” metodu ile kaplama yöntemidir. Bu metot kaplama malzemesinin bir malzeme kaynağından uzaklaştırılarak diğeri üzerinde buharlaştırılması veya çökertilmesi esasına dayanır [10]. Örneğin titanyum, bir enerji kaynağından bir enerji kaynağı olarak odaklanmış elektrik arkı ile iyonize edilir ve bir plazma buhar haline getirilir. Bu plazmaya azot püskürtülerek kaplanacak malzeme üzerine TiN olarak çökeltirilir.



Şekil 4.1. Kesici takım PVD kaplama katmanları [18]

Deneyleerde kullanılan sert metal ucun katalog bilgileri Şekil 4.2’de verilmiştir. Görüldüğü üzere kullanılan IC 830 kalite uç, paslanmaz çelik malzeme işlenmesine uygun, dayanımı yüksek bir özelliğe sahip uç sınıfındadır. İki taraflı 4 kesme kenarına sahip olup 0,8 mm radyüse sahiptir.

H490 ANKX 0904



H490 ANKX/ANCX 0904 Double-Sided Insert, 4 Cutting Edges

Designation	l	s	W	F	r	Tool Types	Type of Machining	Hard ← → Tough					
								IC808	IC5100	DT7160	IC510	IC830	IC330
H490 ANKX 090408PNTR	8.6	5.2	6.6	5	0.8	1-2	Medium	●	●	●	●	●	●
P Steel								✓			✓	✓	✓
M Stainless Steel								✓			✓	✓	✓
K Cast Iron									✓	✓	✓	✓	✓
S High Temp. Alloy								✓			✓	✓	✓
H Hardened Steel								✓					

Şekil 4.2. İki taraflı, 4 kesme kenarlı sert metal kesme ucu [19]

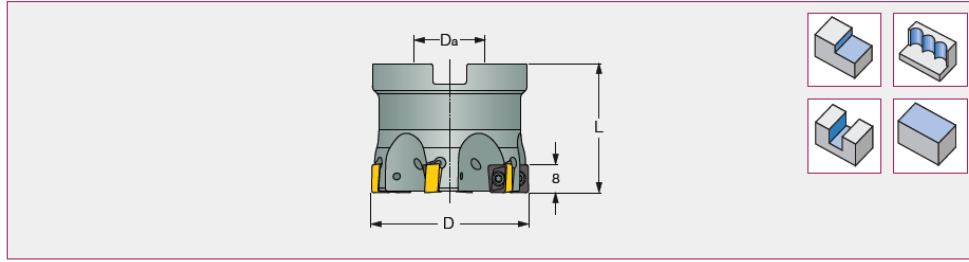
4.2.1. Freze kafası

Deneyleerde kullanılan takma uçlu, 4 kanallı (ağızlı) freze kafası Resim 4.2’de görülmektedir.



Resim 4.2. Deneyleerde kullanılan takma uçlu freze kafası

Dış çap 40mm ve malafa çapı 16 mm olan Freze kafasının özellikleri de Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

H490 F90AX...-09**H490 F90AX...-09** Face Mills with Double-Sided Inserts, Diameter Range 32-63 mm

Designation	D	Z	L	Da	Arbor Style	Inserts
H490 F90AX D032-4-16-09	32	4	35	16	A	•
H490 F90AX D032-5-16-09	32	5	35	16	A	•
H490 F90AX D040-4-16-09	40	4	40	16	A	•
H490 F90AX D040-6-16-09	40	6	40	16	A	•
H490 F90AX D050-6-22-09	50	6	40	22	A	•
H490 F90AX D050-7-22-09	50	7	40	22	A	•
H490 F90AX D063-8-22-09	63	8	40	22	A	•
H490 F90AX D063-9-22-09	63	9	40	22	A	•

Şekil 4.3. Deneyde kullanılan takma uçlu freze kafası özellikleri

4.2.2. Takım tutucu malafa

Resim 4.3'te görülen konik saplı takım tutucu malafa deneylerde freze kafasının CNC tezgaha takılması için kullanılmıştır.



Resim 4.3. Takım tutucu malafa

4.3.CNC Tezgâh

Gazi Üniversitesi Müh. Fak laboratuvarlarında NC ya da CNC freze tezgâhı bulunmadığından bu hizmet piyasadan ücreti karşılığında alınmıştır.

Deneylerde Resim 4.4'te görülen çift tablalı, Fanuc OM serisi kontrol sistemine sahip, kayış kasnak sistemi ile çalışan, x-y-z eksenlerinde 500 mm x 500 mm x 400 mm hareket kabiliyetine sahip, 6000 d/dk iş mili hızına sahip Point marka (Feller Grubu) CNC kullanılmıştır.



Resim 4.4. CNC tezgâh

4.4. Takımcı Mikroskobu ve Optik Mikroskop

Deneylerde, Resim 4.5'te görülen x ve y ekseninde 0,005 mm hassasiyetli mikrometre ölçüm sistemine sahip, z ekseninde netlik ayarı yapılabilen, cam tabla üzerinde alt taraftan yeşil ve üst taraftan beyaz ışıklandırma yapabilen mercek sistemi ile görüntüyü büyütürken, dikey ve yatay eksen çizgisi desteği ile ölçüm imkânı sağlayan Mitutoyo marka takımcı mikroskobu kullanılmış olup, hassas ölçümler yapıp fotoğraflar çekilmiştir. Ayrıca Resim 4.6'da bilgisayar destekli fotoğraf çekebilen GX71 Model optik mikroskop ile inceleme yapıp fotoğraflar çekilmiştir.



Resim 4.5. Takımcı mikroskobu



Resim 4.6. Sert metal uçların aşınma miktarlarının incelenmesinde kullanılan optik mikroskop

4.5.Ön Deneyler

Deney çalışmaları ön deneyler ve asıl deneyler olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Hem ön deneylerde hem de asıl deneylerde 4 kanallı, 4 sert metal uç yerleştirmeli freze kafası kullanılmıştır (Resim 4.2). Deneylerde sert metal uç sarfiyatının fazla olmaması ve incelemelerde karışıklığa yol açmaması amacıyla freze kafasına tek uç bağlanarak kesme işlemi yapılmıştır.

Deneyde kullanılacak olan değişkenlerden Kesme Hızı V_c , İlerleme f_z parametrelerinin değer aralığının doğru bir şekilde tespit edilmesi deneyin başarısı ve doğru sonuçların alınması açısından önemli görülmüştür. Aşınmasının izlenmesi düşünülen sert metal uç ile kesme, doğru kesme aralığında yapılmaması durumunda erken aşınma olabileceği veya ölçümün sıhhatli olmasına yeterli aşınmanın olmayacağı düşünülerek, ön deneylerle kesme parametrelerinin doğru aralığının bulunması amaçlanmıştır.

Ön deneyler yapılırken her seferinde frezeleme işlemi tahmini bir miktarda gerçekleştirilip, daha sonra Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında bulunan takımcı mikroskobunda sert metal uçta kırılmaların olup olmadığına bakılmış ve sert metal uçtaki aşınmanın gerekli incelemeleri ve ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bu inceleme ve ölçümlere göre ön deneylerdeki gidişatın seyrine karar verilmiştir.

Kullanılan takma ucun kesme parametrelerinin tespiti için sert metal ucun kataloğu incelenmiş, AISI 304 paslanmaz çelik malzeme için sert metal ucun kataloğundan Şekil 4.4'teki tablo kullanılarak kesme hızı değeri 120-160 m/s (V_c) olarak elde edilmiştir.

Cutting Speed Recommendation for Indexable Milling Cutters												
ISO	Material	Condition	Tensile Strength [N/mm2]	Hardness HB	Material No.	Coated						
						IC830/ IC928	IC950	IC808/IC908/ IC900	IC810/ IC910	DT7150	IS8	
P	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel	< 0.25 %C Annealed	420	125	1	170-220	210-350	380-400	230-390			
		>= 0.25 %C Annealed	650	190	2	160-190	160-250	305-325	160-270			
		< 0.55 %C Quenched and tempered	850	250	3	100-120	120-200	245-265	130-220			
		>= 0.55 %C Annealed	750	220	4	90-110	100-150	240-260	110-160			
		>= 0.55 %C Quenched and tempered	1000	300	5	70-100	170-400	205-225	190-440			
		Annealed	600	200	6	150-200	150-300	245-265	160-330			
	Low alloy steel and cast steel (less than 5% all elements)	Quenched and tempered	930	275	7	110-170	125-250	180-200	140-270			
			1000	300	8	100-150	100-200	190-210	110-220			
			1200	350	9	90-120	90-175	205-225	100-190			
		High alloy steel, cast steel, and tool steel	Annealed	680	200	10	70-100	75-150	200-220	80-160		
		Quenched and tempered	1100	325	11	70-90	75-130	110-130	80-140			
M	Stainless steel and cast steel	Ferritic/martensitic	680	200	12	160-270		170-290				
		Martensitic	820	240	13	100-250		100-260				
		Austenitic	600	180	14	120-160		130-170				

Şekil 4.4. IC830 sert metal ucun katalogundaki tavsiye edilen kesme hızı değerleri [19]

Ön deneylerde katalogdan alınan bu kesme hızı değerlerinin ortalama değeri esas alınarak tezgâh devri 1100 d/dk (N) olarak hesaplanmıştır. Diş başına ilerleme (f_z) 0,3 mm/diş alınarak ön deneyler bu değerlerle başlamıştır. Ancak katalog değerleri esas alınarak yapılan bu deneyde sert metal ucun makul ve yeterli miktarda kesme işlemi yapmaksızın, fazla miktarda aşındığı görülmüştür.

Kesme hızı ve ilerleme parametreleri için tahmini farklı değerler denenerek ön deneyler yapılmaya devam edilmiştir.

Doğru kesme parametreleri aralığını bulmak için daha önce yapılan çalışmalar da araştırılmıştır. Polonya’da 2005 yılında yapılan bir kongrede sunulan K.A. Abou-El-Hosseini ve Z. Yahya’nın AISI 304 paslanmaz çeliğin sert metal uçlarla frezelenmesi çalışmasında da Ø 12 mm freze kafasına tek uç kullanıldığı görülmektedir. Kesme hızları ise 150, 190, 225, 260 m/dk ve diş başı ilerlemeler 0,025, 0,050, 0,075, 0,100 mm/diş olarak çalışılmıştır. Çalışmalarda bu parametrelere yakın parametrelerle ön deneyler tekrarlanmış, fakat iyi bir sonuç alınamamıştır. Örneğin; 138 m/dk kesme hızı ve 0,027 mm/dk ile çalışıldığı halde sert metal ucun kısa bir sürede kırıldığı gözlemlenmiştir (2. ve 3. ön deney).

Yapılan araştırma ve öneriler doğrultusunda 400 dev/dk (50,3 m/dk kesme hızı) ve 33 mm/dk tabla ilerlemesi ile deneyler tekrarlanmıştır. Sonuçta yukarıda bahsedilen K.A. Abou-El-Hosseini ve Z. Yahya’nın AISI 304 paslanmaz çeliğin sert metal

uçlarla frezelenmesi çalışmasında kullanılan parametrelere yakın parametreler kullanılarak yapılan deneyden (2. ve 3. ön deneyden) tam 4 kat daha fazla miktarda kesme yapılabilmiştir. 4 kat daha fazla miktarda kesme yapılmasına rağmen sert metal uçta hala kırılma olmadığı gibi, aşınmanın da aşırı miktarda olmadığı gözlemlenmiş ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır.

Alınan bu iyi sonuçlar ışığında bir kaç ön deney daha yapılarak asıl deneylerde kullanılacak parametreler belirlenmiştir.

Yapılan ön deneyler sonucunda belirlenen kesme parametreleri Çizelge 4.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Ön deneyler sonucunda belirlenen kesme parametreleri

Kesme Hızı V_c (m/s)	Diş başına ilerleme f_z (mm/kesici uç sayısı)
30	0,05
55	0,08
80	0,11

Bu şekilde parçanın değişik kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde frezelenmesi ile ön deneyler yapılarak ve asıl deneylerde kullanılacak sert metal ucun ölçmeye ve incelemeye yeterli aşınmasını sağlayacak, doğru kesme parametreleri tespit edilmiştir.

4.6.İstatistik Programı Kullanılarak Deney Programının Oluşturulması

Deneysel bir çalışmadan en iyi çıktı sistematik bir yaklaşım dikkate alındığı an elde edilir [20].

Deney programı oluşturulurken, deneysel tasarım ve modelleme teknikleri kullanılmadan yapılması durumunda 3 farklı değişkenin, 3 farklı değeri için yapılacak kombinasyonda toplam 81 deney gerektirdiği görülmüştür. Oysa deneysel tasarım ve modelleme tekniklerini kullanan bilgisayar istatistik programının

kullanılması sayesinde; sistematik bir yaklaşım sergilemenin yanında, deney sonuçlarının analizlerinin yapılması için 42 deneyin yeterli olacağı görülmüştür. Deney sayısının 42' ye düşürülmesi ile deneyin maliyetinin azaltılması açısından da iyi olacağı saptanmıştır.

4.7.Tasarım Modeli Seçimi

Etkin ve güçlü tasarımın amacı sonuç yığından beklenen ortalamayı iyileştirmek ve hatalardan kaynaklanan belirsizlikleri minimize etmektir. Deney sonucunu analiz etmek ve etkin parametreleri belirlemek için farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Deneyin niteliğine göre değişik analiz tipi kullanıcı tarafından seçilebilir [21]. Yapılacak deneylerin, deney tasarım modelini seçerken öncelikle gözlemlenecek faktörlerin sayısı tespit edilmiştir. Daha sonra bu alanda genellikle kullanılan model çeşitlerine bakılarak bir ön fikir elde edilmiştir. Diğer bir unsur ise gerekli verilere en kısa şekilde ulaşılabilecek modelin seçilmesidir. Yanıt (Tepki) Yüzeyi Metodunun seçilmesi bu etkenlere dayanmaktadır. Çünkü bu metotla daha az sayıda işlemle daha sağlıklı sonuçlara varılabilmekte, ayrıca mekanik ve üretim bazlı deney gözlemlerinde uygulanacak bu model oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Yanıt (Tepki) Yüzeyi Metodolojisi yöntemi sadece araştırmacılar için değil aynı zamanda endüstri için de hem zamandan hem de maliyetten kazanımlar sağlayabilecek bir yöntemdir.

Yapılacak deneyler için Yanıt Yüzey Tekniği (YYT) metodunun seçilmesinin diğer sebepleri de şöyledir:

- Yanıt Yüzey Tekniği (YYT) metodunda, gerekli olan deneysel tasarımdaki nicel (miktarsal) veriler çok değişkenli bir denklemi tanımlamak ve çözümlemek için kullanılır [20]. Yapılacak deneylerin sonuçlarında da aşınma ile kesme parametreleri arasında böyle bir denklem oluşturulmak istenmektedir.
- Yanıt yüzeyleri olarak grafiksel gösterilmede ifade edilebilen yukarıda bahsedilen denklem, proses değişkenlerinin yanıtı nasıl etkilediğini, proses

değişkenleri arasındaki ara etkileşimleri ve tüm proses değişkenlerinin yanıt üzerindeki birleşik etkisini tanımlamak için kullanılır [20]. Yapılacak deneylerde de grafiksel gösterimlerle ifade edilebilen denklem ile sert metal uç aşınması yanıtını nasıl etkilediği ve proses değişkenleri olan kesme parametrelerinin yanıt üzerindeki birleşik etkileri görülmek istenmektedir.

- Yanıt Yüzey Tekniği endüstride çok geniş alanda kullanılmaktadır. Örneğin bazen bazı sistemlerde oldukça çok sayıda değişkenin sistemin bazı özelliklerini etkilemekte, etkilenen bu özellikler yanıt (respond) olarak adlandırılmaktadır. Yanıt olarak adlandırılan bu özellik de takım aşınması, kompozitin aşınması, yüzey pürüzlüğü vb. gibi sistemin fonksiyonunu yerine getiren önemli bir değişkenidir [20]. Yapılacak deneylerin sisteminde de aşınma; yanıt değişken olup, kesme parametrelerinden etkilenmekte ve sistemin fonksiyonunu oluşturan yine sistemin bir özelliğidir. Bu tekniğin endüstride çok geniş alanda kullanılması da tercih edilen bir teknik olduğunu göstermektedir.

4.7.1.Box-behnken tipi tasarım

Yanıt yüzeyi tasarımında birkaç çeşit tasarım tipi mevcuttur. Uygun tasarım tipi seçimi için ön incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere Yanıt yüzeyi tasarım tiplerinin karşılaştırılması yapıldığında;

CCC {Daire ile Çevrelenmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Circumscribed)} tasarım tipinin belirlenen skalanın dışında ölçümler gerektirmesi yapılacak deney için tercih edilmeyen bir durumdur. Çünkü skalanın dışındaki ölçümler yapılması durumunda ön deneylerden edinilen tecrübeye göre ucun kırılma riski yüksektir.

CCI {Merkezi bir Yüzde Olan Merkezi Kompozit Tasarım (Face Centered)} tasarımları yüksek bir tahmin kalitesi vermemesinin yanı sıra her faktör için 5 seviye gerektirmesi, fazla sayıda deney yapılması açısından tercihe alınmamıştır.

CF {İçine Daire Çizilmiş Merkezi Kompozit Tasarım (Inscribed)} yüksek kaliteli tahmin yapmakta olmasına ve her faktör için 3 seviye gibi düşük sayıda seviye şartı olmasına rağmen kuadratik katsayıların tahmininde zayıf bir tahmin yapması pekiyi olmayan bir yönüdür [22].

Çizelge 4.3. Yanıt yüzeyi tasarımlarının özeti

Tasarım Tipi	Öneri
CCC	CCC tasarımları bütün tasarım alanında yüksek kalite tahminleri yapar ama faktörler için belirlenen skalanın dışında ölçümler gerektirir. Her faktör için 5 seviye gerektirir.
CCI	CCI tasarımları faktör skalası içinde belirlenmiş noktaları kullanır. CCC ile kıyaslandığında yüksek bir tahmin kalitesi vermez. Her faktör için 5 seviye gerektirir.
CCF	CCF tasarımları yüksek kaliteli tahmin yaparlar, faktör skalasının dışında deney gerektirmezler ancak kuadratik katsayıların tahmininde zayıf bir tahmin yaparlar. Her faktör için 3 seviye gerektirir.
Box- Behnken	Bu tasarımlar 3 ve 4 faktör içeren deneylerde merkezi kompozit tasarımdan daha az ölçüm gerektirir. Box-Behnken tasarımı döndürülebilir bir tasarımdır fakat CCI gibi zayıf tahmin kaliteli bölgeleri içerir. Faktörlerin ekstrem değerlerinden kaçınan deney yapanlar için tasarımın köşeleri kullanmayışı avantaj olabilir. Her faktör için 3 seviye gerektirir.

Diğer tasarım tiplerinde olumsuz yönlerin olması, daha az ölçüm gerektirmesi ve yapılacak deneylerin 3 faktöre sahip olması nedenleri ile alt tasarım modeli olarak Box-Behnken tipinin seçiminin uygun olacağı düşünülmüştür.

Box-Behnken tipi istatistiksel tasarım 3 faktörlü, 3 seviyeli ve 15 aşamalı optimizasyon çalışması için kullanılır. Deneysel tasarım, her kenarın orta noktasında yer alan ve çok boyutlu bir küpün merkezinde bulunan nokta kümelerini içerir.

Deneyler için istatistik programında yanıt yüzey bölümünden box-behnken tipi seçilerek, 3 faktör, 3 tekrarlı ve 2 merkez noktası seçimleri yapılmak suretiyle temel deney sayısı 14 olarak hesaplanmıştır.

Toplam deney sayısı 3 tekrarla birlikte 42 olarak hesaplanmıştır. Merkez noktası sayısı (Number of center point) olarak 2 değeri yeterli görülmüş ve 2 değeri kullanılmıştır.

Yapılacak deneyler için istatistik programında gerekli veriler girilmek ve seçenekler seçilmek suretiyle deney programı oluşturulmuştur. Oluşturulan deney programı sonunda program tarafından oluşturulan raporda Çizelge 4.4'teki bilgiler elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. İstatistik programında box-behnken tasarımı ile oluşturulan deney programı raporu [23]

Faktörler (Factors) : 3	Tekrar sayısı (Replicates) : 3
Temel çalışma sayısı (Base runs) : 14	Toplam çalışma sayısı (Total runs): 42
Temel blok (Base blocks) : 1	Toplam blok (Total blocks) : 1
Merkez noktaları (Center points) : 6	

Center points (Merkez noktaları): Tüm faktör düzeyleri ile tasarım noktaları düşük ve yüksek ayarlar arasında ortaya ayarlama yapar. Tasarıma bir merkezi nokta eklemek yanıt yüzeyde eğrilik tespit etmenize olanak tanır. Tasarım merkezi kapsamında eğrilik varsa, merkez noktasındaki yanıt köşe noktalarının ortalamasından ya daha düşük ya da daha yüksek olacaktır. Tasarımın gücünü artırmak için merkez noktaları ayrıca eklenebilir [23].

Ön deneylerde tespit edilen ve Çizelge 4.2'te verilen kesme parametreleri değerleri istatistik programına veri girişi yapılmış “Design of Experiments (DOE)” ve

“Response Surface” bölümleri kullanılarak deney programı oluşturulmuştur. İstatistik programı ile oluşturulan deney programı Çizelge 4.5’teki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. İstatistik programı ile oluşturulan deney programı.

RunOrder	Type (Eş-Zıt-Slot)	Vc (Kesme Hızı)	fz (Diş başı ilerleme)
1	-1	55	0,05
2	0	30	0,11
3	0	80	0,05
4	1	55	0,05
5	0	30	0,05
6	1	30	0,08
7	0	55	0,08
8	-1	30	0,08
9	-1	55	0,11
10	1	80	0,08
11	0	55	0,08
12	0	80	0,11
13	1	55	0,11
14	-1	80	0,08
15	0	30	0,05
16	0	30	0,11
17	-1	80	0,08
18	-1	55	0,05
19	0	55	0,08
20	1	55	0,05
21	-1	55	0,11
22	0	80	0,05
23	1	30	0,08
24	1	55	0,11
25	1	80	0,08
26	0	80	0,11
27	-1	30	0,08
28	0	55	0,08
29	0	30	0,05
30	0	80	0,11
31	0	55	0,08
32	1	80	0,08
33	0	80	0,05
34	1	55	0,05
35	-1	55	0,11
36	1	55	0,11
37	1	30	0,08
38	-1	55	0,05
39	0	55	0,08
40	-1	80	0,08
41	-1	30	0,08
42	0	30	0,11

Burada

Type: frezeleme tipini

-1: eş yönlü frezeleme

1: zıt yönlü frezeleme

0: slot tipi frezeleme

Vc: Kesme Hızı

fz : Diş başına ilerleme

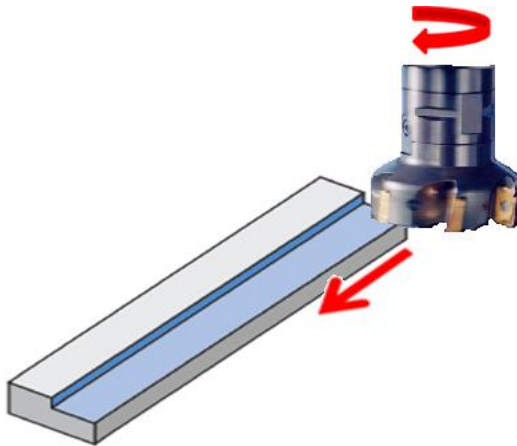
ifade etmektedir.

4.8.Deneylerin Yapılması

Frezeleme işlemleri için CNC tezgâha CNC programı yazılmıştır.

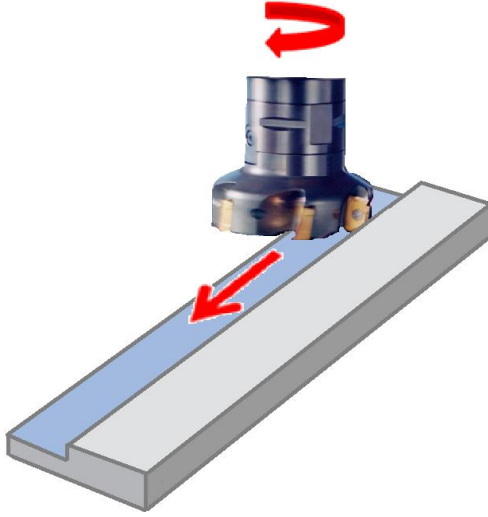
Deneylerde 400 mm boydaki AISI 304 paslanmaz çelik malzeme CNC freze tezgâhı mengenesine/mengenerine bağlanarak parçanın sağ kenarından sıfırlama yapılıp;

- a) Şekil 4.5’de gösterildiği gibi malzemenin yarı kısmından girilerek eş yönlü tipte frezeleme işlemi yapılmıştır. Deney programında (Çizelge 4.5) “Type” başlıklı sütununda “-1” yazan deneylerde bu tipte frezeleme işlemi yapılmıştır.



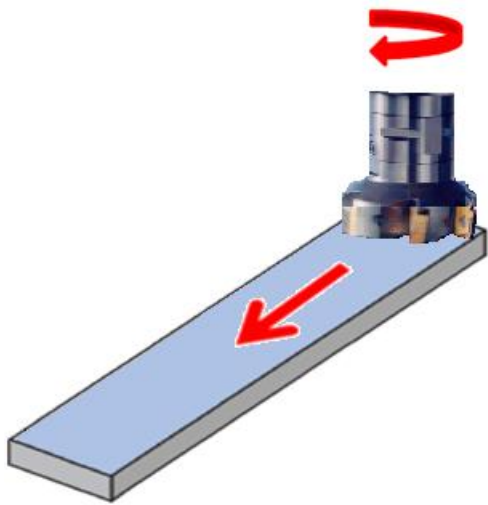
Şekil 4.5. Eş yönlü frezeleme

- b) Şekil 4.6’de gösterildiği gibi malzemenin eninin karşı taraftaki yarı kısmından girilerek zıt yönlü tipte frezeleme işlemi yapılmıştır. Deney programında (Çizelge 4.5) “Type” başlıklı sütununda “1” yazan deneylerde bu tipte frezeleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.6. Zıt yönlü frezeleme

- c) Şekil 4.7’de gösterildiği gibi malzemenin eninin tam ortasından girilerek slot tipi frezeleme işlemi yapılmıştır. Deney programında (Çizelge 4.5) “Type” başlıklı sütununda “0” yazan deneylerde bu tipte frezeleme işlemi yapılmıştır.



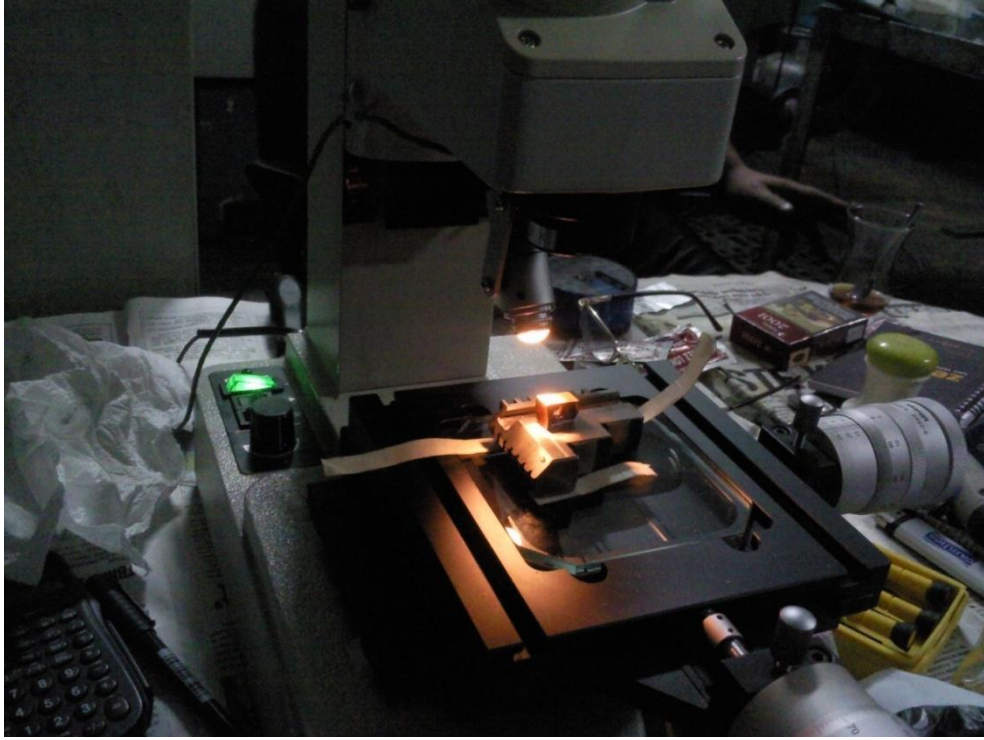
Şekil 4.7. Slot frezeleme

Sert metal ucun katalogunda kesici ucun soğutma suyu ile çalışan bir uç olduğu belirtildiğinden deneylerde, frezeleme işlemlerinde soğutma suyu kullanılmıştır.

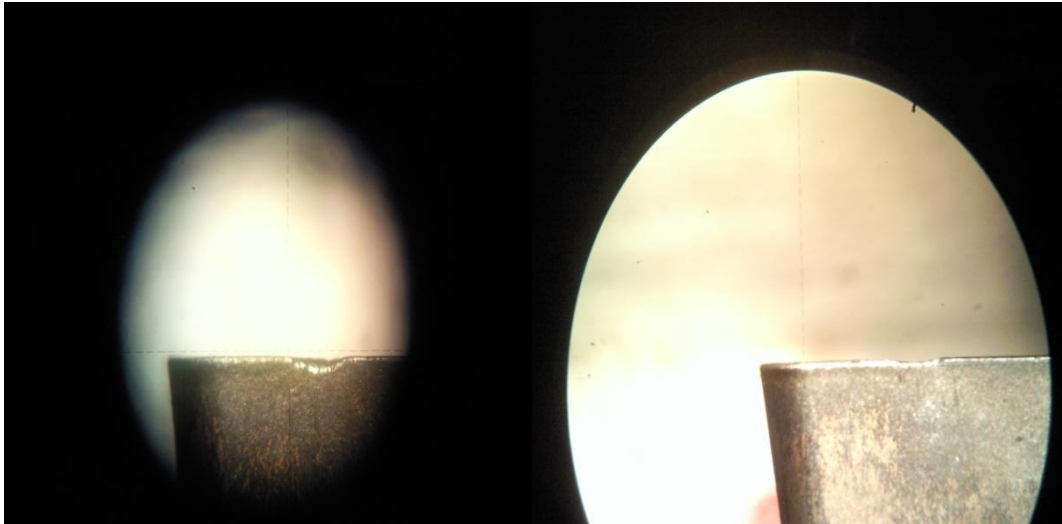


Resim 4.7. Soğutma suyu kullanılarak yapılan zıt yönlü frezeleme

Deneyin yapılmasından sonra ölçümün sıhhatli bir şekilde yapıp aşınma farklarının ölçümlerde bariz görülebileceği aşınma miktarlarının elde edilebilmesi için malzemenin frezelenmesi gereken miktar ön deneylerde tespit edilmiştir. Asıl deneylerdeki her deney için bu tespit edilen miktarda ve aynı miktarda frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her deney için freze kafasına sert metal ucun bir kenarı yerleştirilmiş, yani her deneyde ucun 1 kenarı kullanılmıştır. Daha sonra takımçı mikroskobunda sert metal uçtaki aşınmanın incelemeleri ve ölçümleri yapılmıştır (Resim 4.8, Resim 4.9). Elde edilen bu inceleme ve ölçümler kayıt altına alınmıştır.

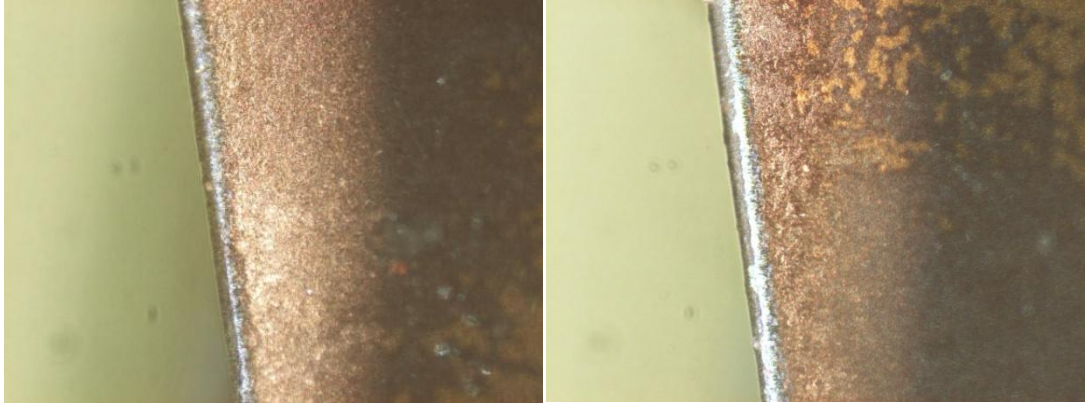


Resim 4.8. Mikroskopta aşınma değerleri ölçümü



Resim 4.9. Mikroskopta sert metal uç görünümü ve aşınma ölçümü

Deney sırasında bazen hatalardan kaynaklanan çarpmlarla uçların kırıldığı durumlar olmuş bu durumlarda deneyler tekrarlanmıştır. Yanlış uç takılma durumlarında ve deneyin sıhhatli olmadığı düşünülen durumlarda deneyler tekrarlanmıştır.



Resim 4.10. Optik mikroskopta 19.deney ön deney 3 uç-1.köşe-eş yönlü frezeleme görüntüleri

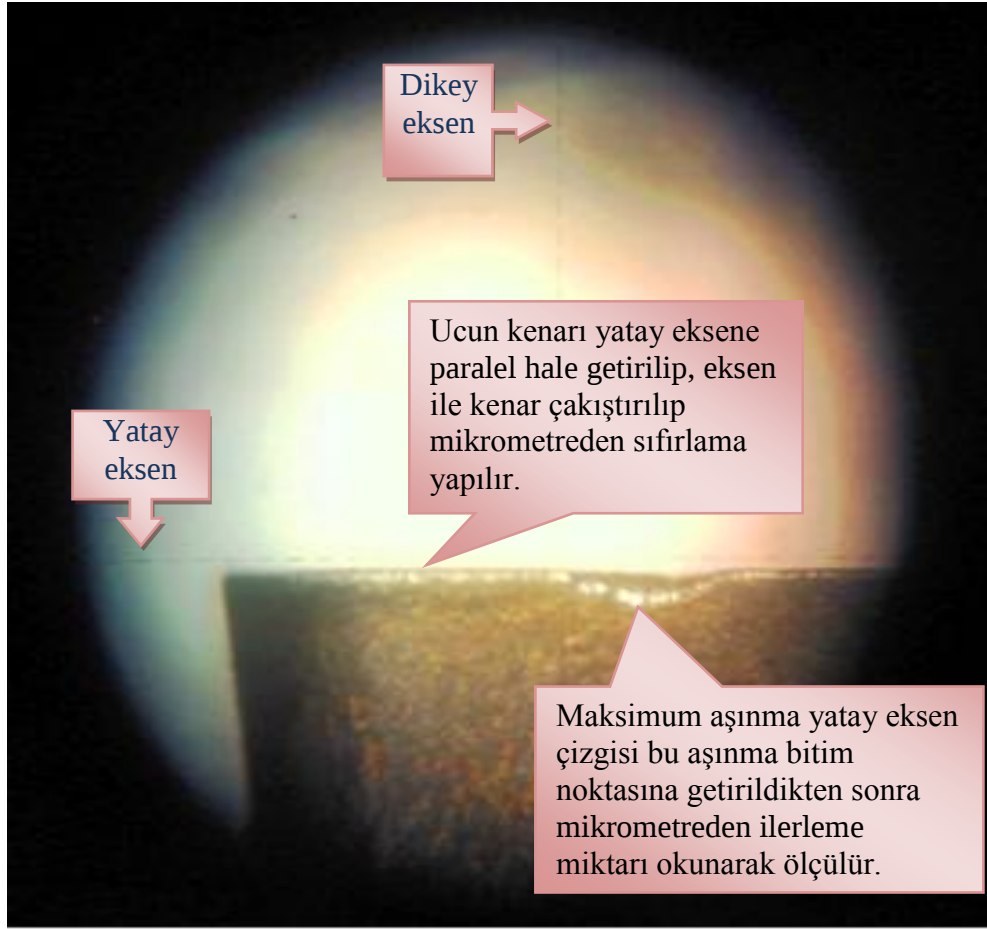
4.9.CNC Tezgâhının Çektiği Akımın Ölçülmesi

Deneylerde CNC freze tezgâhının çektiği akımın ölçülmesi ve daha sonra bu ölçümler kullanılarak daha iyi yorumlar yapılması planlanmıştır. Deneyler sırasında CNC tezgâha takılan ampermetreden frezeleme işlemi esnasında tezgâhın çektiği toplam akım her deney için kaydedilmiştir. Kaydedilen bu akım değerleri de EK-1’de ve Ek-2’de sunulmuştur.

4.10. Sert Metal Ucu Aşınma Miktarının Ölçülmesi

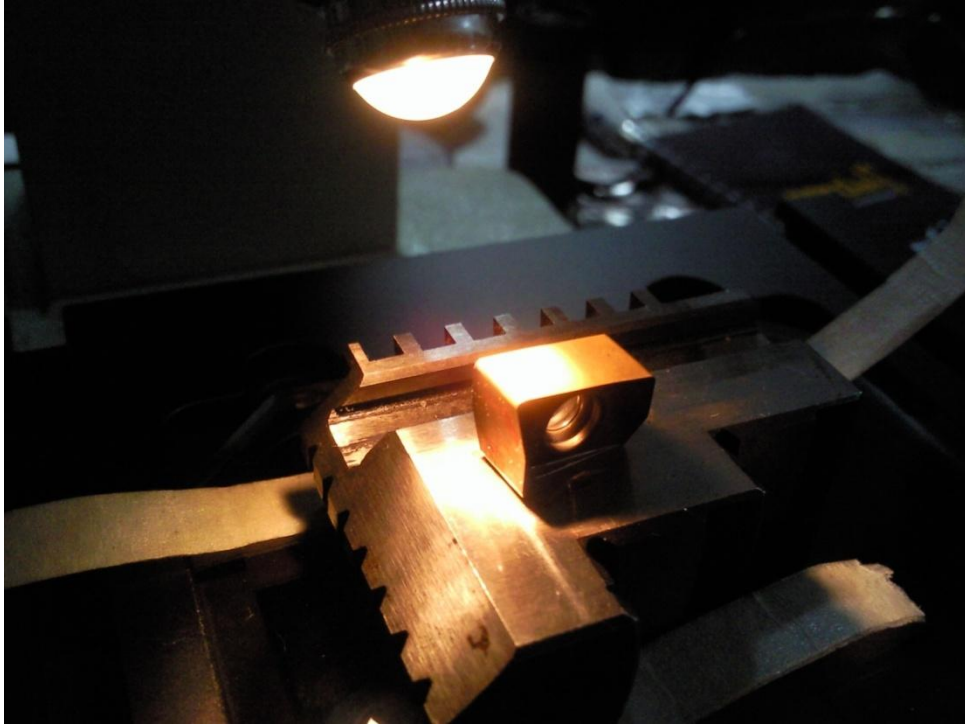
Mikroskop altına deneyde kullanılan sert metal ucun aşınmış olan kenarı yerleştirilerek görsel netlik ayarlanır. Daha sonra mikroskop görüntüsünde bulunan eksen çizgileri aşınmış olan kenara getirilir. Bu ayarlardan sonra mikroskop tablasını ilerleten mikrometrelili ölçüm skalasından sıfırlama yapılır, ucun aşınan bölümlerine doğru ilerleyerek ortalama aşınma ya da maksimum aşınma olan bölgeye yatay eksen çizgisi getirilir ve mikrometrelili ölçüm skalasından aşınma miktarı okunur (Resim 4.11) ve kayıt altına alınır.

Aşınma miktarları ile yapılan incelemelerin ölçüm sonuçları ve Ek-1’de sunulmuştur.



Resim 4.11. Mikroskop altında aşınma ölçümünün yapılışı

Ölçümlerin sıhhatli ve çabuk bir şekilde yapılabilmesi için ucun sıfırlama işleminde değişik yöntemler denenmiştir. Resim 4.12’de görüldüğü gibi sert metal uç önce ölçüme hazırlanmış, daha sonra uç üzerinde uygun ışık miktarı ayarlanarak görsel olarak aşınmaların en sıhhatli görülebileceği ışık miktarı ayarlanmaya çalışılmıştır. Ölçümler sırasında aşınmaların daha sıhhatli görülüp daha doğru ölçümlerin alınabilmesi için gerektiğinde dışarıdan, değişik açılardan, ışık takviyesi yapılmıştır.



Resim 4.12. Mikroskop altına yerleştirilmiş ölçüme hazır sert metal uç

4.11. Aşınma Miktarlarının Diğer Değişkenlerle Birlikte İstatistik Programı ile Değerlendirilmesi

Aşınma miktarlarının diğer değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi için bir istatistik yazılımı kullanılmıştır.

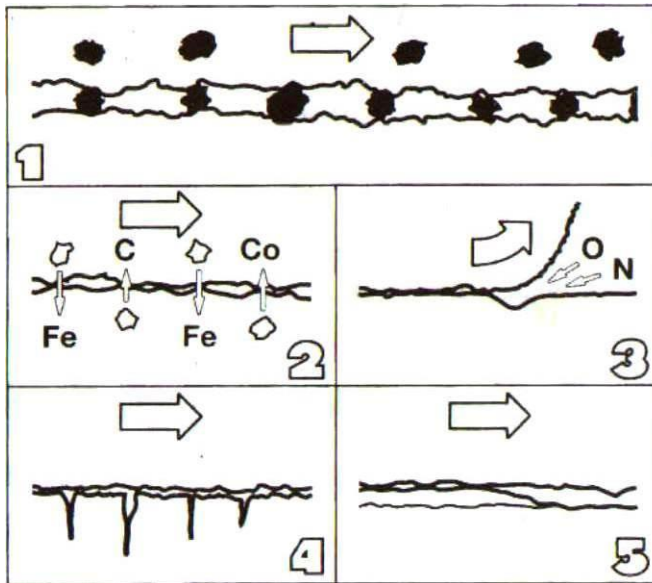
Programın çeşitli bölümlerinden 2 boyutlu ve 3 boyutlu çeşitli grafikler, diyagramlar ve bilgiler elde edilerek bu bilgiler değerlendirilmeye çalışılmıştır.

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan frezeleme işlemlerinden sonra sert metal uçların üzerlerinde oluşan aşınma tipleri takımcı mikroskobu altında incelenmiştir.

Aşınma miktarları ile yapılan incelemelerin ölçüm sonuçları ve Ek-1’de sunulmuştur.

Şekil 5.1’de daha önce de Şekil 2.1 ile verilmiş olan aşınma tipleri görülmektedir. Aşınma tiplerine göre deneylerde sert metal uçlarda oluşan tipik çentik aşınmasının mikroskoptaki görüntü fotoğrafı olan Resim 5.2’ye bakıldığında kesici kenarlardaki aşınmaların 5 numaralı adhezyon aşınması ve 3 numaralı oksidasyon aşınmasına benzediği ve iki aşınma tipinin bir arada olmuş olabileceği düşüncesi güç kazanmaktadır.



Şekil 5.1. Temel aşınma tipleri [10, 12]

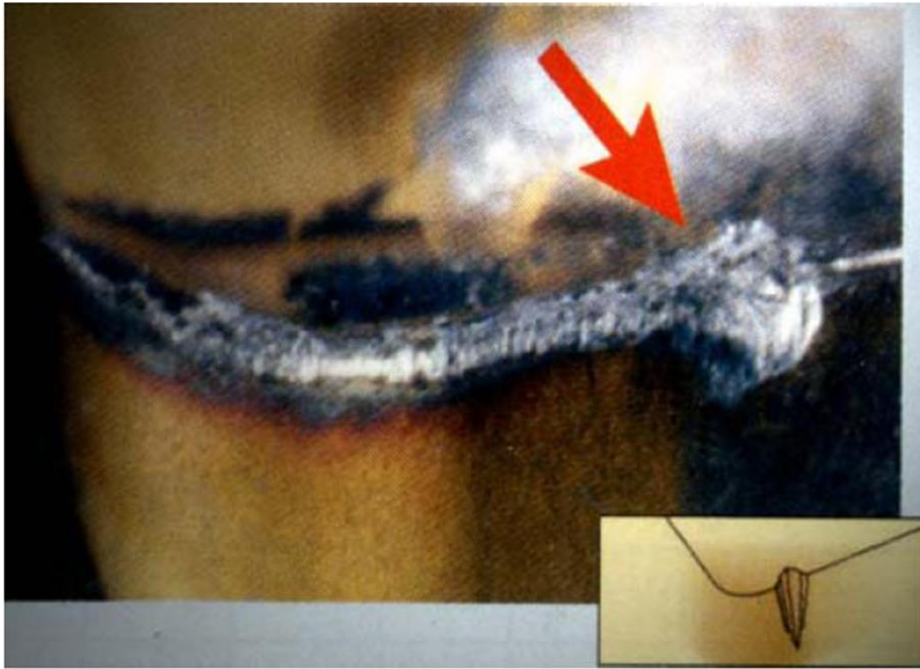
1. Abrasiv aşınma 2. Difüzyon aşınması 3. Oksidasyon aşınması
4. Yorulma aşınması 5. Adhezyon aşınması

Takım aşınması olarak deneydeki bütün sert metal uçlarda, yan yüzey (yanak) aşınması ile karşılaşılmıştır.

Yan yüzey (yanak) aşınması Kesici kenarın yan yüzeylerinde (yanaklarında) genellikle abrazif aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir [10]. Abraziv aşınma mekanizmasından kaynaklanan aşınmalar iş parçası malzemesi ile takım arasına giren, çoğunlukla iş parçası malzemesi sert parçacıklarının sebep olduğu aşınmalardır [10, 12].

Genellikle sadece yan yüzey (yanak) aşınması mevcut olan uçlardaki mikroskop görüntülerinde üniform şekilde bir aşınma görülmektedir.

Bütün deneylerdeki sert metal uçlarda yan yüzey (yanak) aşınması görülmekle beraber, deneylerin bir kısmında Resim 5.1'deki gibi hem yan yüzey (yanak) aşınması hem de çentik aşınması ile karşılaşmıştır.



Resim 5.1. Çentik aşınması

Deneylerin tamamında sert metal uçların kesici kenarlarının hepsinde yan yüzey (yanak) aşınması olduğu görülmüştür.

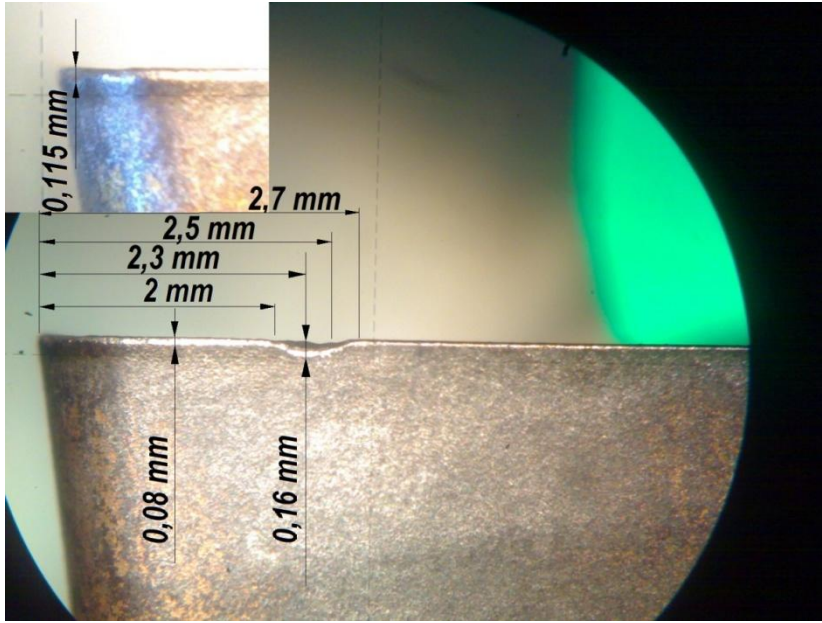
Deneylerin % 83'lük kısmında sadece yan yüzey (yanak) aşınması olup, %17'lik kısmında ise hem yan yüzey (yanak) aşınmasına hem de çentik aşınmasına rastlanmıştır.

Deney sonuçları Ek-2'deki tabloda verilmiş olup tabloda ayrıntılar belirtilmiştir.

Belirli bir sıcaklık aralığında takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ve kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adhezyon aşınmasını oluşturan nedenlerdir. Belirli bir malzemenin işlenmesi esnasında (örneğin östenitik paslanmaz çelikler) bu aşınma türü talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olur. Bu durum çentik aşınmasının en yaygın şeklidir ve takım ile iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ile doğrudan ilişkilidir [12].

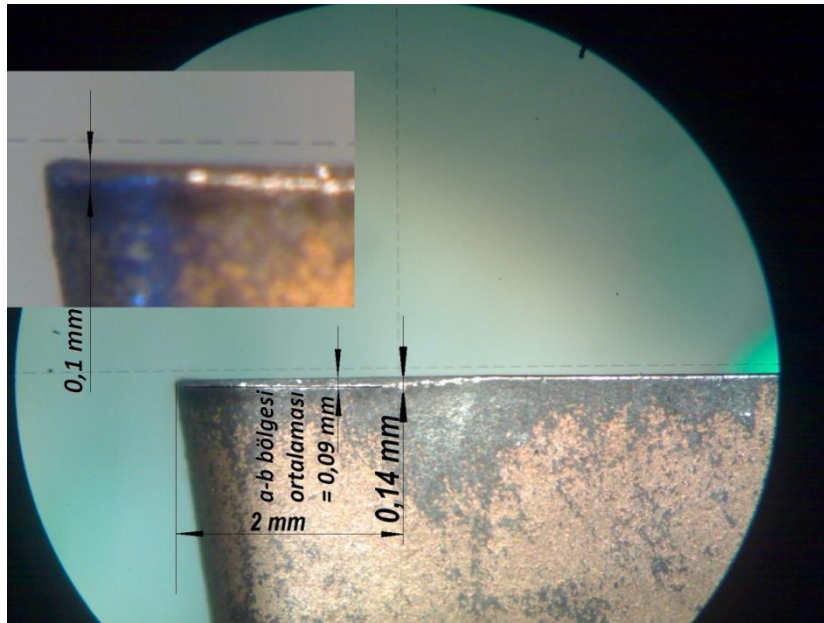
Deneyde kullanılan iş parçası malzemesi AISI 304 paslanmaz çelik olup, genelde paslanmaz çelikler yapışmaya eğilimli malzemelerdir ve takım yüzeyine yapışan (üstü testere gibi dişleri olan) talaş tipi görülebilir. Ayrıca BUE (Built Up Edge) adı verilen; kesici kenarda basıncın etkisiyle talaş malzemesinin kaynaklanması ve üst üste birikmesi, sonra bu biriken yapının kopması ile kesici ucun malzemesini de koparması olayı gerçekleşir. Ön deneylerde veya asıl deneylerimizde BUE tipi bir yapılanma tespit edilmemiştir. Aşınan uçlarda kesici kenar üzerine sıvanma şeklinde oluşumlara çok nadir de olsa rastlanmıştır. Deneylerde her pasoda uçlar incelenmiş, aşırı derecede sıvanma, yığılma gibi oluşumlar izlenmemiştir. Bununla beraber deneylerde kullanılan iş parçasının AISI 304 östenitik paslanmaz çelik olması nedeniyle, yukarıda ifade edildiği gibi bu çelik cinsinde adhezyon aşınma türünün talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olduğu hususu, çentik aşınmasının en yaygın şeklinin de bu aşınma mekanizması ile gerçekleştiği bilinmektedir [12].

Resim 5.2'de görüldüğü üzere $V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z ve *zıt yönlü frezeleme* ile yapılan 32 nolu deneyde çentik aşınması kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) gerçekleşmiştir.



Resim 5.2. $V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z olan zıt yönlü frezeleme ile yapılan deneydeki sert metal ucun aşınmasının mikroskopta incelenmesi.

Buna karşılık Resim 5.3’de açıkça görüleceği üzere aynı kesme parametreleri ($V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z) kullanılarak *eş yönlü frezeleme* ile yapılan 40 nolu deneyde ise hiç çentik oluşumu meydana gelmemiştir.



Resim 5.3. $V_c = 80$ m/dk, $f_z = 0,08$ mm/z olan eş yönlü frezeleme ile yapılan deneydeki sert metal ucun aşınmasının mikroskopta incelenmesi.

Zıt yönlü frezelemede oluşan çentik oluşumunun eş yönlüde oluşmaması

AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler işleme esnasında iş parçası takım ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle çok zor işlenen malzemeler gurubunda yer almaktadırlar [24, 25].

Östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesi [26], düşük ısı iletim oranlarına sahip olması ve yığıntı talaş (BUE) oluşumuna eğilimli olmaları [27] bu çeliklerin işlenmesinde yüksek takım aşınması ve düşük yüzey kalitesi elde edilmesine sebep olmaktadır [28]. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenirken yüksek deformasyon sertleşmesi oluşması talaş koparma işlemi esnasında sürtünme kuvvetini oluşturan baskı kuvvetinin yüksek olduğu sonucunu çıkarır.

Zıt yönlü frezelemede sıfır talaş kalınlığından başlayan ve talaş kalınlığının sert metal ucun kestiği malzemedan çıkana kadar talaş kalınlığının arttığı ve malzemedan çıktığı anda da talaş kalınlığının maksimum noktaya ulaştığı bir talaş kaldırma sistemi vardır. Bu nedenle talaş kalınlığının artması ile zaten malzeme cinsinden kaynaklı yüksek deformasyon sertleşmesi sebebiyle kesmeye karşı direnç kuvvetinin artması olumsuzluğuna bir de talaş kalınlığının artması ile kesmeye karşı direnç kuvvetinin artması ilave olmaktadır. Bu da oluşan sürtünme kuvvetini ve dolayısıyla da oluşan sürtünmeyi arttırabilir, yüksek sıcaklık oluşumuna sebep olabilir. Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletim oranlarına sahip olması, iş parçası takım ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıkları uzaklaştırmada yetersiz olacağı ve dolayısıyla da takım üzerinde zıt yönlü frezeleme kullanıldığında eş yönlüye göre daha fazla uzaklaştırılamayan yüksek sıcaklık meydana geldiği söylenebilir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölgede (yan yüzeyde çentik aşınmasının olduğu bölgede) hava etkeni ve oksidasyon meydana gelebilir.

Eş yönlüde talaşa girmeden önce sert metal uç soğutma sıvısı ile soğumuş haldedir. Bu başlangıç anında sert metal uç talaşı kalın olarak kesmeye başlamaktadır. Talaşın en kalın olmasından dolayı da, kesmeye karşı direnç kuvvetinin ve dolayısıyla

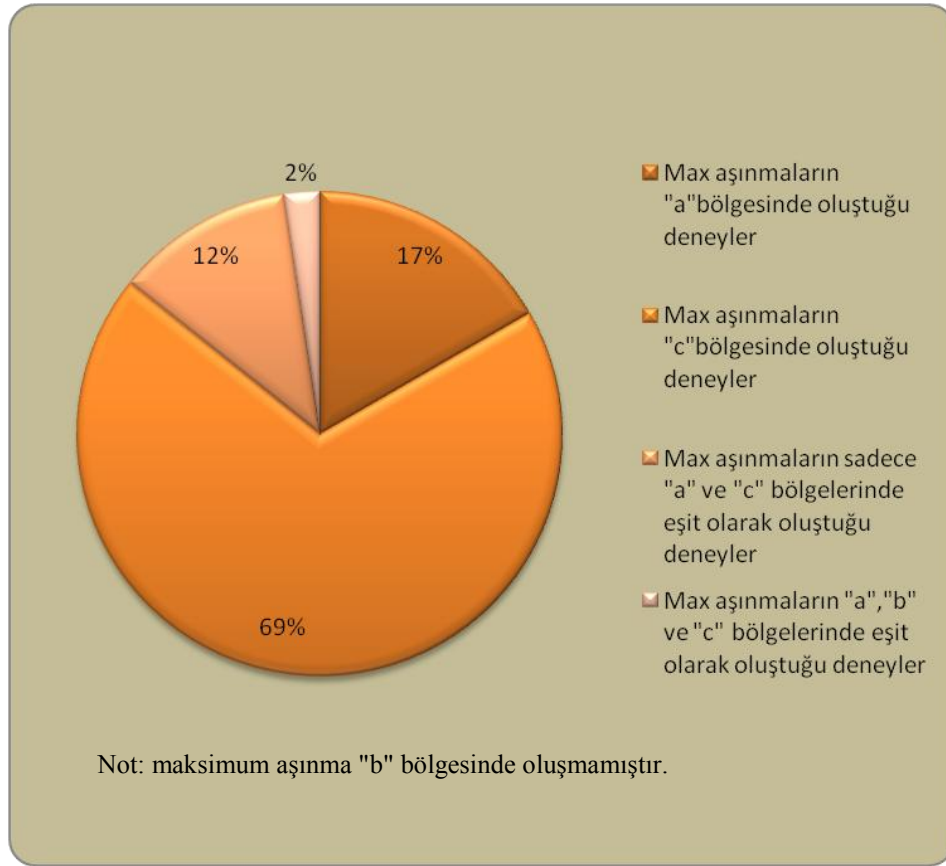
sürtünmenin de en fazla olduğu an bu andır. Sert metal ucun kesmeye karşı direnç kuvvetinin ve dolayısıyla sürtünmenin de en fazla olduğu bu başlangıç anında soğuk olması sebebiyle, ucun yüksek sıcaklıktan etkilenme olumsuzluğu ile karşılaşma durumu zayıftır. Giderek azalan talaş kalınlığı sonucu da kesmeye karşı direnç kuvveti azalacak ve dolayısıyla sürtünme de azalacaktır. Eş yönlü frezelemeye oranla zıt yönlü frezelemede oluşan daha fazla aşınmanın sebepleri olarak bu kriterler dikkate alınmalıdır.

5.1.Frezeleme Tipi ve Aşınma Tipi Arasındaki İlişkinin Aşınma Değerleri Göz Önüne Alınarak İncelenmesi

Titanyum alüminyum nitrür (TiAlN) oksidasyona karşı direnci iyi olduğu halde, oksidasyon mekanizması ile aşınma yaygın bir aşınma türü olmamasına rağmen deneylerin % 17'lik kısmında adhezyon ve oksidasyon mekanizmasına bağlı çentik aşınması ile karşılaşmıştır.

Maksimum aşınmaların bölgelere göre dağılımı

Deneylerdeki maksimum aşınmaların olduğu bölgeler incelendiğinde aşınmaların bölgelere göre dağılımı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



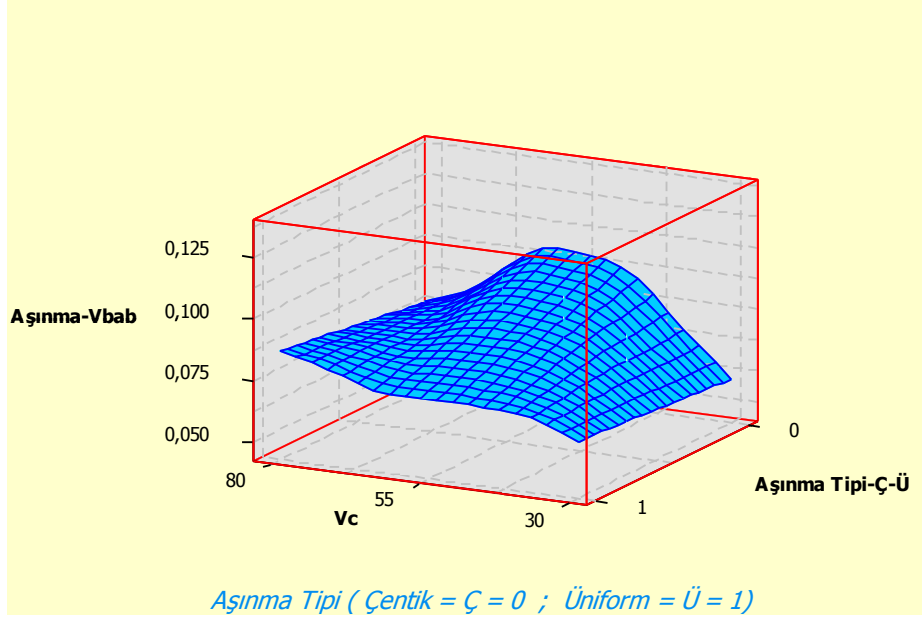
Şekil 5.2. Maksimum aşınmaların bölgelere göre dağılımı

Görüldüğü gibi aşınma miktarının en fazla olduğu bölge olarak “c” bölgesi görülmektedir.

Aşınma tipinin grafiklerle incelenmesi

Şekil 5.3’te üniform aşınmaların kesme hızı (V_c) ile değişimi incelenmiştir. (0) ile işaretli çentik tipi aşınma ile (1) işaretli üniform tipi aşınmanın bulunduğu Y eksenini boyunca ara değer olamayacağı için Y eksenini boyunca değişim derlendirilmemiş olup, grafik “1” ve “0” ın olduğu hizadan çizgisel olarak değerlendirilmelidir. Çentik aşınmasının olduğu deneylerde kesme hızı arttıkça V_{bab} aşınmaları da artmış $V_c = 55$ m/dk hıza kadar yüksek bir artış göstermiş $V_c = 80$ m/dk hıza doğru azalmaya geçmiştir. Üniform aşınmaların olduğu kısımda kesme hızı arttıkça V_{bab} aşınmaları da artmıştır.

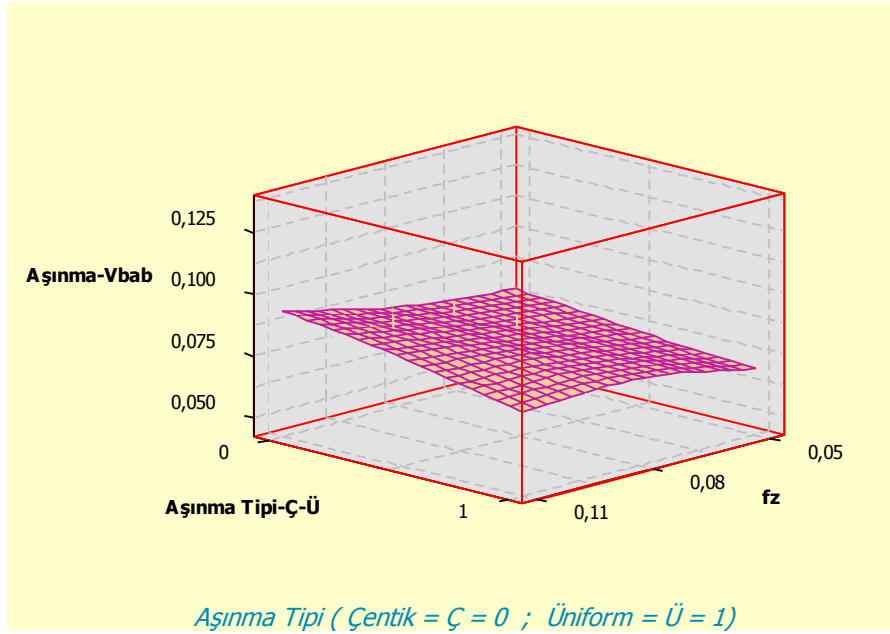
Genelde çentik aşınmalarının olduğu deneylerde üniform aşınmalar (V_{bab}) daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Aşınma V_{bab} 'nin – aşınma tipi (Ç-Ü) ve kesme hızı (V_c) ile incelenmesi

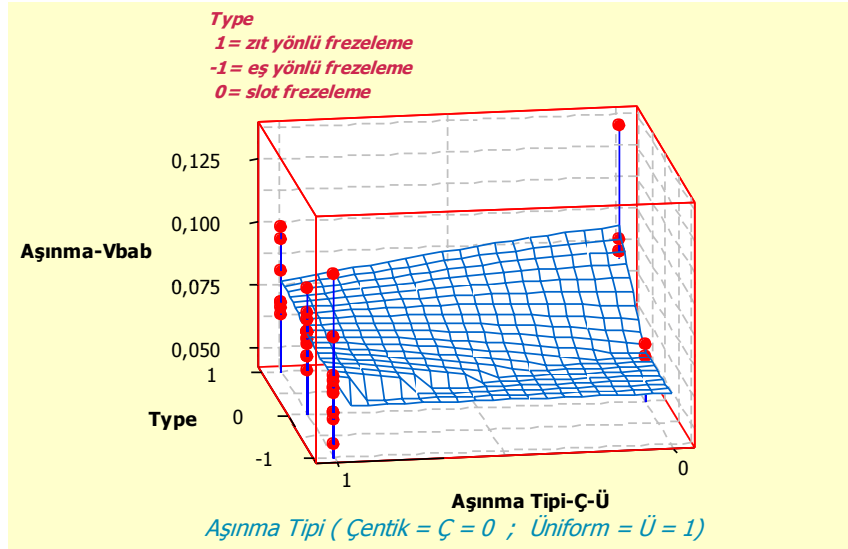
Şekil 5.4'te üniform aşınmaların ilerleme (f_z) ile değişimi incelenmiştir. “0” ile işaretli çentik tipi aşınma ile “1” işaretli üniform tipi aşınmanın bulunduğu X eksenini boyunca ara değer olamayacağı için X eksenini boyunca değişim değerlendirilmemiş olup, grafik “1” ve “0”ın olduğu hizadan çizgisel olarak değerlendirilmelidir.

Üniform aşınmaların olduğu ilerleme (f_z) arttıkça V_{bab} aşınmaları da artmıştır. Çentik aşınmasının olduğu deneylerde ilerleme (f_z) arttıkça V_{bab} aşınmaları da artmış fakat üniform aşınmaların olduğu deneylerdekine göre daha fazla bir artış gözlemlenmektedir.



Şekil 5.4. Aşınma Vbab'nin – aşınma tipi (Ç-Ü) ve diş başı ilerlemesi (fz) ile incelenmesi

Şekil 5.5'te üniform aşınmaların frezeleme tipi (Type) ile değişimi incelenmiştir. Burada aşınma tipi (Ç-Ü) ve frezeleme tipi (Type) değerleri için üniform tipi aşınmanın (Vbab) bulunduğu X ve Y eksenini boyunca ara değerler olamayacağı için, grafik noktasal olarak değerlendirilmelidir. Görüldüğü gibi zıt yönlü frezelemelerin olduğu bütün noktalarda eş yönlü frezelemenin olduğu noktalardan daha fazla üniform aşınma (Vbab) gerçekleşmiştir. En fazla üniform aşınma (Vbab) çentik aşınmasının olduğu ve zıt yönlü frezelemelerin olduğu noktalarda meydana gelmiştir. Slot frezeleme ile oluşan üniform aşınma (Vbab) durumu incelendiğinde ise üniform aşınmaların olduğu noktalarda eş yönlü frezelemeye göre daha fazla, zıt yönlü frezelemeye göre daha az aşınma oluştuğu görülmektedir. Slot frezelemede de çentik aşınması oluşumu görülmektedir.



Şekil 5.5. Aşınma Vbab'ın – aşınma tipi ve frezeleme tipi ile incelenmesi

Vbab (üniform aşınmalarının) aşınma tipine göre grafiklerle incelenmesi sonucu görülmektedir ki; çentik aşınmalarının olduğu deneylerde üniform aşınmalar daha yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Ayrıca zıt yönlü frezelemelerin olduğu deneylerde üniform aşınmalar daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

5.2.Regresyon Analizi ile Aşınmanın incelenmesi

İstatistik programı kullanılarak deneylerimizden elde edilen aşınma yanıt değişkeni ile bağımsız değişkenler olan kesme hızı (V_c), diş başına ilerleme (f_z), frezeleme tipi (Type) arasında bir bağıntı kurarak, denklem oluşturulmaya, yanıt değişkeninin bu denklem ile tanımlanmasına çalışılmıştır.

5.2.1.Basit regresyon analizi

Yapılan regresyon analizi sonucu Şekil 5.6'daki Vbab aşınmasının regresyon denklemi;

$$\text{Aşınma-Vbab} = 0,0421 + 0,000379 V_c + 0,170 f_z + 0,00625 \text{ Type} \quad (5.1)$$

şeklinde elde edilmiştir.

Regression Analysis: Aşınma-Vbab versus Vc; fz; Type

The regression equation is

$$\text{Aşınma-Vbab} = 0,0421 + 0,000379 \text{ Vc} + 0,170 \text{ fz} + 0,00625 \text{ Type}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,042082	0,009369	4,49	0,000
Vc	0,0003792	0,0001059	3,58	0,001
fz	0,17014	0,08825	1,93	0,061
Type	0,006250	0,002648	2,36	0,023

S = 0,0129702 R-Sq = 36,8% R-Sq(adj) = 31,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,0037193	0,0012398	7,37	0,001
Residual Error	38	0,0063926	0,0001682		
Total	41	0,0101119			

Source	DF	Seq SS
Vc	1	0,0021565
fz	1	0,0006253
Type	1	0,0009375

Unusual Observations

Obs	Vc	Aşınma-Vbab	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	80,0	0,11500	0,07978	0,00425	0,03522	2,87R
36	55,0	0,13500	0,08790	0,00425	0,04710	3,84R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Şekil 5.6. Regresyon analizi sonuçları

“ $Y = a + b X$ ” eşitliğinde a sabit (constant), b ise regresyon katsayısı olup regresyon doğrusunun eğimidir [29].

Predictor: açıklayıcı değişken

coefficient: katsayı

R-sq: R kare

Constant: sabit (a)

stdev: standart sapma

R-Sq(Adj): düzeltilmiş R^2

Analysis of variance: varyans analizi

df: serbestlik derecesi

SS: kareler toplamı

MS: kareler ortalaması

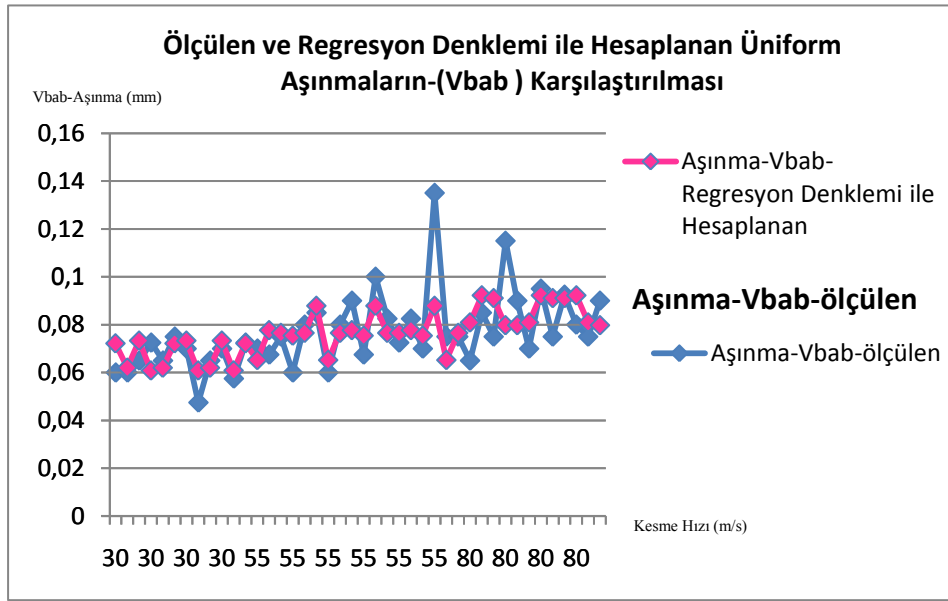
Error: hata [29]

$P=0<0,05$ olduğunda bağımsız değişken bağımlı değişken üzerinde önemli etkiye sahip demektir. Bağımlı değişkenin değişiminin % $R\text{-sq}$ kadarını bağımsız değişkenin açıkladığı anlaşılır [29].

Kaynaklar konu ile ilgili örnekler incelendiğinde $R\text{-Sq}$ (R^2) değeri ve $R\text{-Sq(Adj)}$ ($R^2\text{düz}$) değeri 100 üzerinden ne kadar yüksek olursa elde edilen denklemle bağımlı değişkenin değişiminin açıklanması o kadar başarılı olduğu görülmüştür.

Bulunan bu denkleme V_c , f_z , Type değerleri koyularak V_{bab} - Aşınma değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler EK-3’de verilmiştir.

Denklemle elde edilen bu V_{bab} - Aşınma değerleri ile ölçülen V_{bab} - Aşınma değerleri karşılaştırılmış olup, karşılaştırma durumu Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7. Denklemlerle elde edilen Vbab- aşınma değerleri ile ölçülen Vbab- Aşınma değerlerinin karşılaştırılması

Regresyon denkleminin verilere uyum düzeyini, dolayısıyla denklemin başarısını ölçmede “belirleme katsayısı (R^2)” denilen bir istatistik kullanılmaktadır. Belirleme katsayısı, regresyon denkleminin başarısını ölçme yanında, denklemin “tahmin gücünü de yansıtan bir istatistiktir [30]. R^2 Belirleme Katsayısı (Coefficient of determination) Model ile yanıtta değişimlerin ne kadar açıklandığını gösterir [23]. Ancak deneyimizin analizinde basit regresyon analizi yapılarak bulunan bu denklemin R^2 değerleri (Şekil 5.6) aşağıda verildiği gibi yüksek değildir.

$$R-Sq = 36,8\% \quad R-Sq(adj) = 31,8\%$$

İleriki bölümde gösterilecek polinomiyal regresyon analizi ile bulunan denklemlerin R^2 değerleri daha yüksek yani daha başarılı olduğundan bu bölümde bulunan denklemler ileri incelemelerde kullanılmayacaktır.

5.2.2. Polinomiyal regresyon analizi

Deneylerden elde edilen sonuçlar bağımlı değişken olan üniform aşınma (Vbab) ile bağımsız değişkenler olan kesme hızı (V_c), diş başına ilerleme (f_z), frezeleme tipi (Type) arasındaki bağıntının belirlenmesinde 1.,2.,3. derece üslerinin modele

katılarak daha doğru bir denklem elde edilmesi ümidi ile polinomiyal regresyon analizi yapılmıştır.

Bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki bağıntının belirlenmesinde bağımsız değişkenin 1.,2. vd. üslerinin modele katılması modelin belirleme gücünü artırabilir. Bu yaklaşıma polinamiyal regresyon adı verilir [31].

Program, analiz sırasında bağımsız değişkenlerin 3.dereceden hesaplamalarında hatalar vermiştir. Dolayısıyla bağımsız değişkenlerin 3.dereceden üslerinin modele katılması sağlanamamış 2. dereceden üsleri modele katılmıştır.

Polinomiyal Regresyon analizi sonucu aşağıdaki Vbab aşınmasının regresyon denklemi ve Şekil 5.8'deki ekran görüntüsü elde edilmiştir.

Regression Analysis: Aşınma-Vbab versus Vc; fz; ...

* Vc³ is highly correlated with other X variables
 * Vc³ has been removed from the equation.

* fz³ is highly correlated with other X variables
 * fz³ has been removed from the equation.

* Type³ is highly correlated with other X variables
 * Type³ has been removed from the equation.

The regression equation is

$$\text{Aşınma-Vbab} = 0,0056 + 0,00115 \text{ Vc} + 0,578 \text{ fz} + 0,00625 \text{ Type} - 0,000007 \text{ Vc}^2 \\ - 2,55 \text{ fz}^2 + 0,00500 \text{ Type}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00556	0,03600	0,15	0,878
Vc	0,0011492	0,0007390	1,55	0,129
fz	0,5775	0,7441	0,78	0,443
Type	0,006250	0,002629	2,38	0,023
Vc ²	-0,00000700	0,00000665	-1,05	0,300
fz ²	-2,546	4,618	-0,55	0,585
Type ²	0,005000	0,004156	1,20	0,237

S = 0,0128782 R-Sq = 42,6% R-Sq(adj) = 32,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,0043072	0,0007179	4,33	0,002
Residual Error	35	0,0058047	0,0001658		
Total	41	0,0101119			

Source	DF	Seq SS
Vc	1	0,0021565
fz	1	0,0006253
Type	1	0,0009375
Vc ²	1	0,0002396
fz ²	1	0,0001084
Type ²	1	0,0002400

Unusual Observations

Obs	Vc	Aşınma-Vbab	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	80,0	0,11500	0,08135	0,00526	0,03365	2,86R
36	55,0	0,13500	0,09156	0,00526	0,04344	3,69R

R denotes an observation with a large standardized residual.

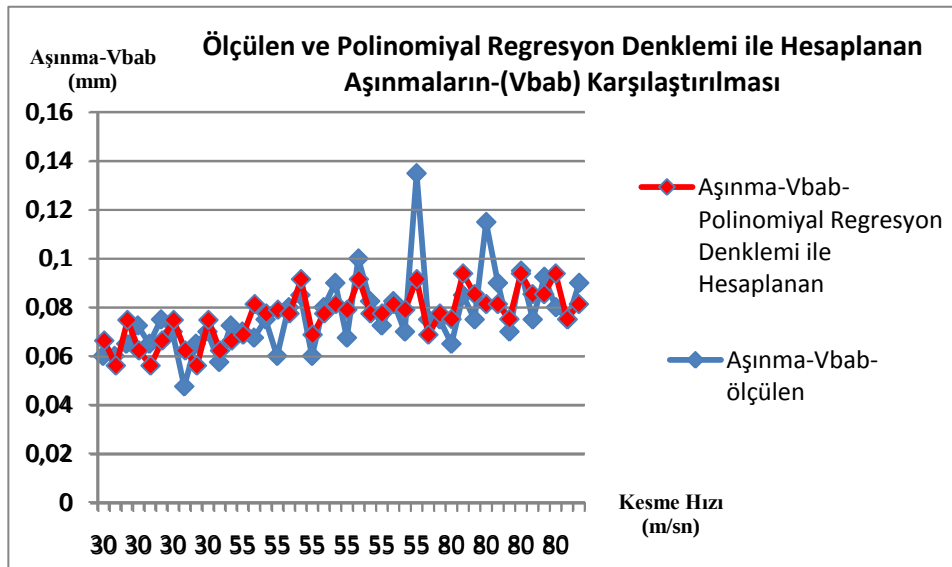
Şekil 5.8. Polinomiyal regresyon analizi sonuçları

Yapılan Polinomiyal regresyon analizi sonucu Vbab aşınmasının regresyon denklemi;

$$\begin{aligned} \text{Aşınma-Vbab} = & 0,0056 + 0,00115 V_c + 0,578 f_z + 0,00625 T_{\text{type}} \\ & - 0,000007 V_c^2 - 2,55 f_z^2 + 0,00500 T_{\text{type}}^2 \end{aligned} \quad (5.2)$$

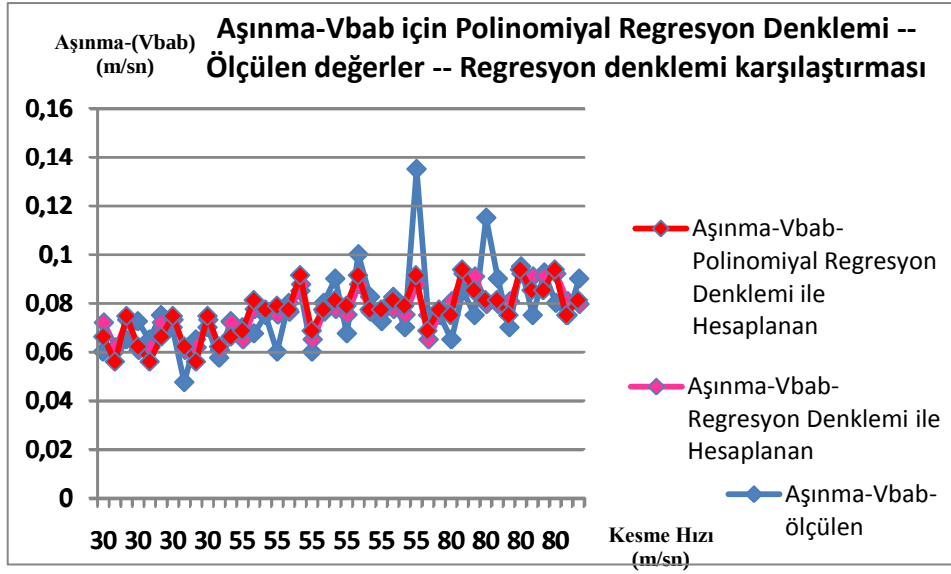
şeklinde elde edilmiştir.

Bu bulunan polinomiyal regresyon denkleminde ölçülen parametrelere ait olan kesme parametreleri koyularak Vbab-Aşınma değerleri bulunmuştur. Şekil 5.9'da denklemlerle elde edilen bu Vbab-Aşınma değerleri ile ölçülen Vbab-Aşınma değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.9. Polinomiyal regresyon sonucu denklemlerle elde edilen Vbab- aşınma değerleri ile ölçülen Vbab- aşınma değerlerinin karşılaştırılması

Polinomiyal regresyon denkleminde elde edilen Vbab- aşınma değerleri ile ölçülen Vbab- aşınma değerlerinin ve regresyon denkleminde elde edilen Vbab- aşınma değerlerinin grafiksel olarak bir karşılaştırılması yapılmak istenmiş ve Şekil 5.10 oluşturulmuştur.



Şekil 5.10. Polinomiyal regresyon denklemi ile elde edilen Vbab-aşınma değerleri ile ölçülen Vbab-aşınma değerlerinin ve regresyon denklemi ile elde edilen Vbab-aşınma değerlerinin karşılaştırılması

Deneyin analizinde polinomiyal regresyon analizi yapılarak bulunan denklemin R^2 değerleri (Şekil 5.8) aşağıda verildiği gibi yüksek değildir. Ancak daha önce basit regresyon analizi sonucu bulunan R^2 değerinden daha yüksektir.

$$R-Sq = 42,6 \% \quad R-Sq(adj) = 32,8 \%$$

Deneyin değişkenlerini ve yanıt değişkenini doğru ifade eden denklemin elde edilebilmesi için istatistik programındaki çok çeşitli regresyon analizi yöntemleri denenmiş, ancak sonuçta en iyi R^2 değerlerine sahip denklemin polinomiyal regresyon analizi sonucu bulunan denklem olduğu görülmüştür. Bu nedenle denklem kullanılarak yapılacak daha ileri inceleme çalışmalarımızda bu denklemin kullanılmasına karar verilmiştir.

5.2.3. Frezeleme tiplerinin takım aşınmasında avantaj yönünden incelenmesi

Ölçülen ve denklem ile bulunan üniform aşınma (Vbab) değerlerinin değerlendirilmesi

Üniform şeklinde tabir edilen çentik aşınması olmayan aşınmaların ölçülen değerleri ile ortalama aşınma sonuçları elde edilmiş, polinomiyal regresyon analizi sonucu

elde edilen denklem sonuçlarına göre de ortalama aşınma sonuçları hesaplanmış, ölçülen ortalama aşınma miktarları ile denklemle elde edilen ortalama aşınma sonuçları incelenerek takım aşınması yönünden avantajlı olan frezeleme tipi tespit edilmeye çalışılmıştır. Özellikle zıt yönlü frezeleme ile eş yönlü frezeleme tipinin hangisinin takım aşınmasında avantajlı olduğunun inceleme ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapılan hesaplama ve karşılaştırmalar sonucu Çizelge 5.1'deki aşınmaların toplamaları ve ortalamaları elde edilmiştir.

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi deneylerin genel ortalama değerlerine bakıldığında en fazla aşınmaların zıt yönlü frezeleme tipinde gerçekleştiği görülmektedir. Genel ortalama değerlerine bakıldığında Slot frezeleme tipinin aşınmaları zıt yönlüye oranla daha az olduğu, eş yönlü frezeleme tipine çok çok yakın ve daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1. Ölçülen ve denklem ile bulunan aşınma Vbab aşınma değerlerinin toplam ortalama değerlerinin bulunması

		ZIT YÖNLÜ AŞINMA MİKTARI (mm)		EŞ YÖNLÜ AŞINMA MİKTARI (mm)		SLOT AŞINMA MİKTARI (mm)	
Vc	fz	TOPLAM- Vbab- ölçülen	TOPLAM- Vbab- Polinomiyal Regresyon Denklemi ile Hesaplanan	TOPLAM- Vbab- ölçülen	TOPLAM- Vbab- Polinomiyal Regresyon Denklemi ile Hesaplanan	TOPLAM- Vbab- ölçülen	TOPLAM- Vbab- Polinomiyal Regresyon Denklemi ile Hesaplanan
30	0,05	-	-	-	-	0,095	0,084
30	0,08	0,103	0,112	0,089	0,094	-	-
30	0,11	-	-	-	-	0,104	0,100
55	0,05	0,120	0,122	0,113	0,115	-	-
55	0,08	-	-	-	-	0,133	0,133
55	0,11	0,160	0,137	0,099	0,119	-	-
80	0,05	-	-	-	-	0,105	0,113
80	0,08	0,130	0,141	0,148	0,122	-	-
80	0,11	-	-	-	-	0,121	0,128
Aşınma- Genel Toplamı		0,513	0,513	0,448	0,450	0,558	0,559
Genel Ortalamalar		0,128	0,128	0,112	0,112	0,112	0,112

Çizelge 5.1'deki bu toplam ortalamalar kullanılarak frezeleme tiplerinin aşınma karşılaştırmaları yapılmış, hangi tip frezelemenin hangisine ne kadar aşınma yönünden avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. Buna göre Çizelge 5.2 oluşturulmuştur.

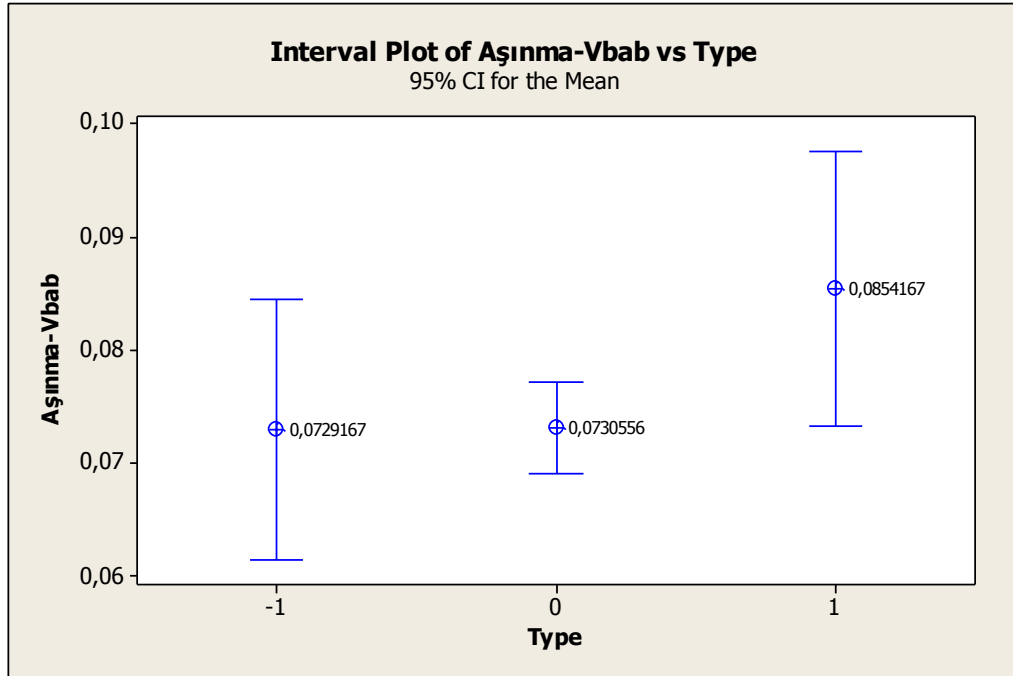
Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi üniform şeklinde tabir edilen çentik aşınması olmayan aşınmaların olduğu Vbab aşınma değerlerinde eş yönlü frezeleme tipinde zıt yönlü frezelemeye oranla % 12,52 daha az aşınma meydana gelmiştir. Slot tipi frezeleme tipinde, zıt yönlüye oranla % 12,92, eş yönlüye oranla % 0,46 daha az aşınma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.2. Frezeleme tiplerinin ölçülen ve denklem ile bulunan Vbab toplam aşınma ortalamaları ile elde edilen avantaj karşılaştırmaları

			Ölçülen Vbab	Denklemlerle bulunan Vbab
Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	=	0,016	0,016
(Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı) farkının %'si	=	<u>12,52%</u>	<u>12,38%</u>
Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı	=	0,001	0,001
(Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı) farkının %'si	=	<u>0,46%</u>	<u>0,60%</u>
Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı	=	0,017	0,017
(Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı	- Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı) farkının %'si	=	<u>12,92%</u>	<u>12,90%</u>

Aşınma verilerinin ortalamalarının istatistik programı ile hesaplanması

Aşınma verilerinin ortalamaları % 95 güven aralığında istatistik programı ile hesaplanmış Şekil 5.11'de sunulmuştur.



Şekil 5.11. Üniorm aşınmaların (Vbab) işleme tipine (Type) (eş-zıt-slot) göre %95 güven aralığında ortalamalarının diyagramlarla karşılaştırılması

İstatistik programı ile %95 güven aralığında hesaplanan Şekil 5.11'deki ortalamalar kullanılarak frezeleme tiplerinin aşınma karşılaştırmaları yapılmış, hangi tip frezelemenin hangisine ne kadar aşınma yönünden avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. Buna göre Çizelge 5.3 oluşturulmuştur.

Üniorm şeklinde tabir ettiğimiz çentik aşınması dikkate alınmayan ortalama aşınmaların olduğu Vbab aşınma değerlerinde ise eş yönlü frezeleme tipinde zıt yönlü frezelemeye oranla % 14,63 daha az aşınma meydana gelmiştir.

Slot tipi frezeleme tipindeki Vbab aşınmaların ise zıt yönlü frezelemeye oranla %14,47 daha az aşınma, eş yönlüye oranla % 0,19 daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.3. İstatistik programı ile % 95 güven aralığında aşınma ortamları

			Vbab (mm)
(Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı - Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı)	farkının %'si =		14,63 %
(Eş yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı - Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı)	farkının %'si =		-0,19 %
(Zıt yönlü frezeleme ortalama aşınma miktarı - Slot frezeleme ortalama aşınma miktarı)	farkının %'si =		14,47 %

5.3.(ANOVA) Varyans Analizi

Kesme hızı (Vc), dış başına ilerleme (fz) ve frezeleme tipi bağımsız değişkenlerinde meydana gelen değişikliklerin, bağımlı değişken olan üniform aşınma değerlerinde (Vbab) oluşturduğu değişikliklerin istatistiksel olarak önemli olup olmadığını test etmek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Deneylerde Box-Behnken tipi deney tasarımının özelliği olarak; bağımsız değişkenler olan kesme hızı (Vc), dış başına ilerleme (fz) ve frezeleme tipi (Type) için seçilen kesme parametrelerinin her biri için aynı sayıda deney yapılmamıştır. Bu nedenle üç farklı analiz yöntemi içinde (İki Yönlü, Dengeli ANOVA, Genel Doğrusal Model), genel doğrusal model (general linear model) yöntemi kullanılması gerekmektedir.

İstatistik programı kullanılarak bu modele göre yapılan varyans analizinde Şekil 5.12'deki sonuçlar elde edilmiştir.

General Linear Model: Aşınma-Vbab versus Vc; fz; Type						
Factor	Type	Levels	Values			
Vc	fixed	3	30; 55; 80			
fz	fixed	3	0,05; 0,08; 0,11			
Type	fixed	3	-1; 0; 1			

Analysis of Variance for Aşınma-Vbab, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Vc	2	0,0023961	0,0023403	0,0011701	7,06	0,003
fz	2	0,0007336	0,0006757	0,0003378	2,04	0,146
Type	2	0,0011775	0,0011775	0,0005888	3,55	0,039
Error	35	0,0058047	0,0058047	0,0001658		
Total	41	0,0101119				

S = 0,0128782 R-Sq = 42,60% R-Sq(adj) = 32,75%

Unusual Observations for Aşınma-Vbab

Obs	Aşınma-Vbab	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
14	0,115000	0,081354	0,005258	0,033646	2,86 R
36	0,135000	0,091563	0,005258	0,043438	3,69 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Şekil 5.12. Kesme hızı (Vc), dış başına ilerleme (fz) ve frezeleme tipi (Type) değişkenlerinin üniform aşınma (Vbab) üzerindeki etkilerinin (ANOVA) analizi sonuçları

P değerlerine göre değişkenlerin önemliliği Çizelge 5.4'dan yararlanılarak belirlenir. Şekil 5.12'de görüldüğü gibi kesme hızı (Vc) ve frezeleme tipi (Type) için P değerleri $P < 0,05$ olup bu iki değişkenin üniform aşınma (Vbab) üzerinde önemli etkisi olan değişkenler olduğunu göstermektedir. Dış başına ilerlemenin (fz) P değeri $P > 0,05$ olduğundan bu değişkenin üniform aşınma (Vbab) üzerinde önemli etkisi olmayan değişken olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre bağımsız değişkenlerimizden dış başına ilerlemenin (fz) istenirse göz ardı edilerek dikkate alınmayabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Test istatistiği ile teorik F değerleri arasındaki ilişki [31]

Koşul	Olasılık	Önemlilik	Karar
$F < F_{0,05; v1; v2}$	$P > 0,05$	Önemsiz	H_0 Kabul
$F_{0,05; v1; v2} \leq F < F_{0,01; v1; v2}$	$P < 0,05$	Önemli	H_0 red, H_1 kabul
$F_{0,01; v1; v2} \leq F < F_{0,001; v1; v2}$	$P < 0,01$	Çok önemli	H_0 red, H_1 kabul
$F \geq F_{0,001; v1; v2}$	$P < 0,001$	ileri düzeyde önemli	H_0 red, H_1 kabul
$v1=gsd$ (Gruplar arası serbestlik derecesi), $v2=hsd$ (Hata serbestlik derecesi)			

Sonuç olarak kesme hızı (V_c), frezeleme tipi (Type) bağımsız değişkenlerinin üniform aşınmaya (V_{bab}) etkisinin önemli olduğu, deneylerde en etkili unsurun kesme hızı (V_c), daha sonra sırasıyla frezeleme tipi (Type) olduğu görülmektedir. Diş başına ilerleme (f_z) değişkeninin ise üniform aşınmaya (V_{bab}) etkisinin önemli olmadığı sonucuna varılmıştır.

5.4. 3 Boyutlu Grafiklerle Değerlendirme

Üniform aşınmaların (V_{bab}) ve Maksimum aşınmaların (V_{bMax}) istatistik yazılımı ile 3 boyutlu grafikleri çıkarılarak incelemeler yapılmıştır.

5.4.1. Üniform aşınmaların (V_{bab}) 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

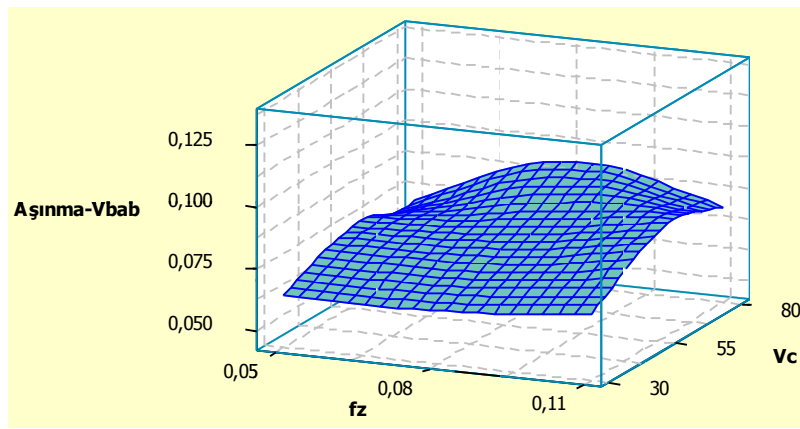
Üniform Aşınma V_{bab} – V_c ; f_z

Ucun kesici kenarının üniform aşınmaları (V_{bab}) Şekil 5.13'te görüldüğü gibi 30 m/dk kesme hızının (V_c) olduğu hızda diş başı ilerlemesi (f_z) arttıkça az miktarda artmıştır. 80 m/dk kesme hızının (V_c) olduğu hızda diş başı ilerlemesi (f_z) 0,05 mm/diş sayısı değerinde V_{bab} aşınması en düşük seviyede olup, 0,08 mm/diş sayısı (f_z) ilerleme değerinde maksimum değerine ulaşmış, 0,11 mm/diş sayısı f_z ilerleme değerine doğru biraz düşme gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak en düşük üniform aşınma V_{bab} en küçük ilerleme ve en küçük kesme hızı değerinde oluşmuştur. En fazla üniform aşınma V_{bab} en yüksek ilerleme olan

0,11 mm/diş değerinde ve orta kesme hızı 55 m/dk'da gerçekleşmiştir. Kesme hızı en yüksek değeri olan 80 m/dk değerine doğru arttıa aşınma biraz azalmıştır.

Üniform aşınma (V_{bab}) aşınmalarının kesme hızı ve ilerleme değişkenlerinden etkilendiği, iki değişkenin artmasıyla aşınmanın da arttığı, ama artışın devam ettiği değişkenlerin maksimum noktalarında aşınmada düşüşün gerçekleştiği görülmektedir.

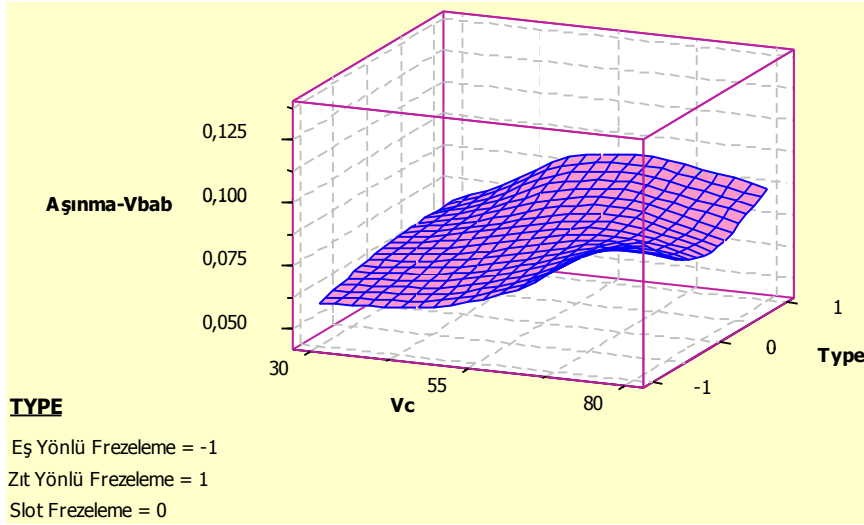


şekil 5.13. Ucu kesici kenarının üniform aşınmalarının (V_{bab}) kesme hızı (V_c) ve diş başı ilerleme (f_z) ile değişimi

Üniform Aşınma V_{bab} – Type; V_c

şekil 5.14'te üniform aşınmaların kesme hızı (V_c) ile değişimi incelenmiştir. “1” ile işaretli eş yönlü frezeleme, “-1” işaretli zıt yönlü frezeleme ve “0” ile işaretli slot frezelemenin bulunduğu Y eksenini boyunca ara değerler olamayacağı için Y eksenini boyunca değişim değerlendirilmemiştir. Dolayısıyla bu grafik “1”, “-1” ve “0”ın olduğu hizalardan geçen çizgi üzerinden değerlendirilmelidir.

şekil 5.14'te görüldüğü gibi 80 m/dk kesme hızının (V_c) olduğu hizadaki aşınmalar içinde üniform aşınmalar (V_{bab}) slot frezelemede en düşük seviyede olup, eş yönlü frezelemede ise zıt yönlüden daha fazla ve en yüksek değere ulaşmıştır. Yani ucu kesici kenarında üniform en yüksek aşınma (V_{bab}) en yüksek kesme hızında ve eş yönlü frezeleme tipinde meydana gelmiştir.



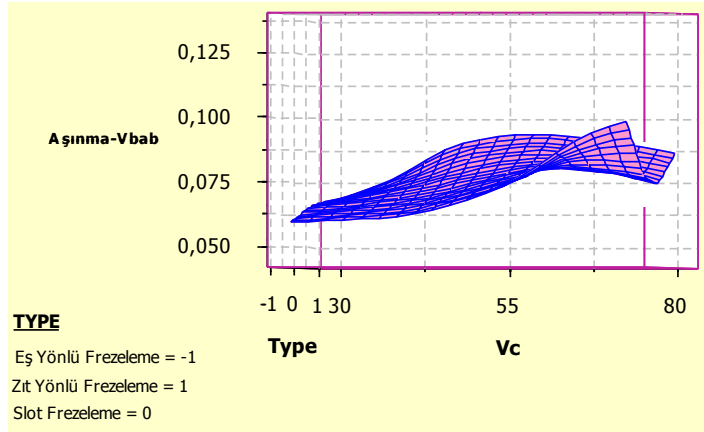
Şekil 5.14. Uçun kesici kenarında üniform aşınmaların (V_{bab}) kesme hızı (V_c) ve frezeleme tipi (Type) ile değişimi

Slot frezelemede 60 m/dk kesme hızına (V_c) kadar üniform aşınmalar (V_{bab}) artış göstermiş ve 80 m/dk hıza doğru düşüş göstermiştir.

En düşük aşınma kesme hızının 30 m/dk (V_c) olduğu noktada, eş yönlü frezelemede meydana gelmiştir. En fazla aşınma yine eş yönlüde, 80 m/dk kesme hızının olduğu noktada oluşmuştur. Zıt yönlü frezelemede ise kesme hızının 80 m/dk (V_c) olduğu noktada eş yönlüden az slot tipinden fazla aşınma meydana gelmiştir. Eş yönlü ve zıt yönlü frezelemelerde 30 m/dk kesme hızından 80 m/dk kesme hızına kadar kesme hızı arttıkça aşınmalar da artmaya devam etmiş 80 m/dk kesme hızına doğru eş yönlüde maksimum seviyeye ulaşmış artma devam ederken zıt yönlüde düşme olmuştur.

Sonuç olarak kesme hızı arttıkça üniform aşınmalar (V_{bab}) artış göstermiş olup, eş yönlü frezelemelerde üniform aşınmalar kesme hızının artması ile artmaya devam ederken slot ve zıt yönlüde 55 m/dk kesme hızından 80 m/dk kesme hızına (V_c) doğru düşüşe geçmiştir. 80 m/dk kesme hızında ise eş yönlü frezelemede ise zıt yönlüden ve slot frezelemeden daha fazla bir değere ulaşmıştır.

Görüldüğü gibi, genelde her noktada zıt yönlü frezelemedeki aşınmalar eş yönlü frezelemedeki aşınmalardan daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 5.14, Şekil 5.15).



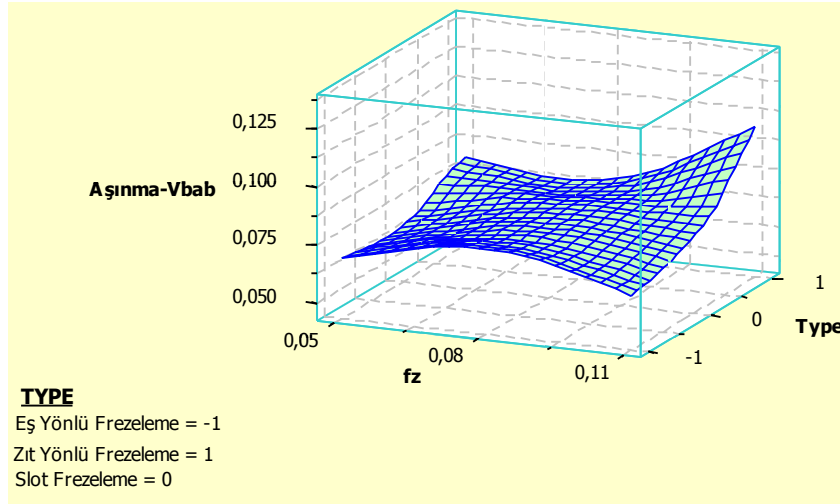
Şekil 5.15. Üniorm aşınmaların (Vbab); (Vc) ve (Type) ile değişimi-yan görünüş

Üniorm Aşınma Vbab – Type; fz

Şekil 5.16’da üniorm aşınmaların kesme hızı (Vc) ile değişimi incelenmiştir. “1” ile işaretli eş yönlü frezeleme, “-1” işaretli zıt yönlü frezeleme ve “0” ile işaretli slot frezelemenin bulunduğu Y eksenı boyunca ara değır olamayacağı için Şekil 5.14’tekine bezer şekilde Y eksenı boyunca değışim değırlendirilmemiş olup, grafik “1”, “-1” ve “0”ın olduğu hizadan çizgisel olarak değırlendirilmelidir.

Şekil 5.16’da Vbab aşınmaları eş yönlü frezeleme tipinde 0,05 mm/diş (fz) değırlinden itibaren 0,08 mm/diş değırline doğru artmıştır. 0,08 mm/diş değırlinden sonra ise 0,11 mm/diş değırline doğru tekrar azalma olmuştur. Vbab aşınmaları zıt yönlü frezeleme tipinde 0,05 mm/diş’ten itibaren 0,08 mm/diş değırline doğru biraz dışmıştır. 0,08 mm/diş’te minimum değırlere ulaşmış, 0,11 mm/diş’e doğru tekrar artarak maksimum değırline ulaşmıştır. Grafiğe göre en fazla aşınma ilerlemenin maksimum olduğu bu nokta da zıt yönlü frezelemede meydana gelmiştir. Aşınmalar slot frezeleme tipinde ise 0,05 mm/diş’ten itibaren 0,08 mm/diş’e doğru artmış, bu değırlerden sonra, 0,11mm/diş değırline doğru tekrar azalma olmuştur. Görlüdüğu gibi

her noktada zıt yönlü frezelemedeki aşınmalar eş yönlü frezelemedeki aşınmalardan daha fazla gerçekleşmiştir.



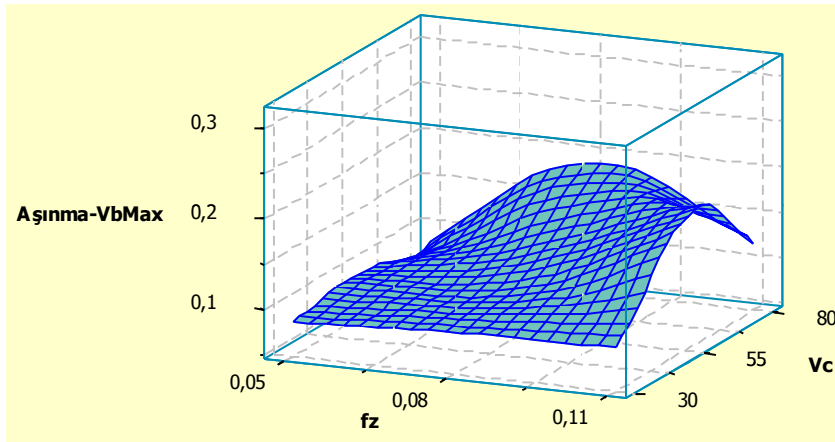
Şekil 5.16. Üniorm aşınmaların (Vbab) frezeleme tipi (Type) ve diş başı ilerleme (fz) ile değişimi

5.4.2. Maksimum aşınmaların (VbMax) 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

Maksimum aşınmaların (VbMax) yani çentik aşınmasının meydana geldiği kısmın incelendiği 3 boyutlu grafiklerde ortaya çıkan sonuçların karakterize edilmesi kolay olmadığından detaylandırılmamıştır. Literatürde de çentik aşınmalarının daima en fazla olduğu ve bunları kontrol etmenin kolay olmadığı bildirilerek değerlendirmelerin genellikle üniorm bölge üzerinden yapıldığı görülmektedir.

Maksimum aşınmaların (VbMax) kesme hızı (Vc) ve diş başı ilerleme (fz) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

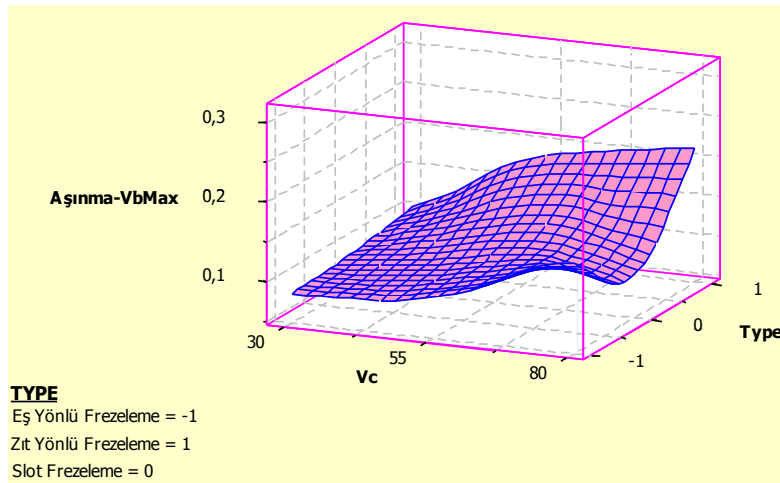
Kesme hızı ve ilerlemeler arttıkça belli bir değere kadar maksimum aşınmalar (VbMax) da artmakta 80 m/dk kesme hızı (Vc) ve 0,11 mm/diş ilerleme (fz) değerlerine doğru Şekil 5.17’den de görüldüğü gibi aşınmalar tekrar düşmektedir. Bu da kesme hızı ve ilerleme değişkenlerinin değişiminin aşınmalar (VbMax) üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.17. Maksimum aşınmaların (VbMax) kesme hızı (Vc) ve diş başı ilerleme (fz) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

Maksimum aşınmaların (VbMax) kesme hızı (Vc) ve frezeleme tipi (Type) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

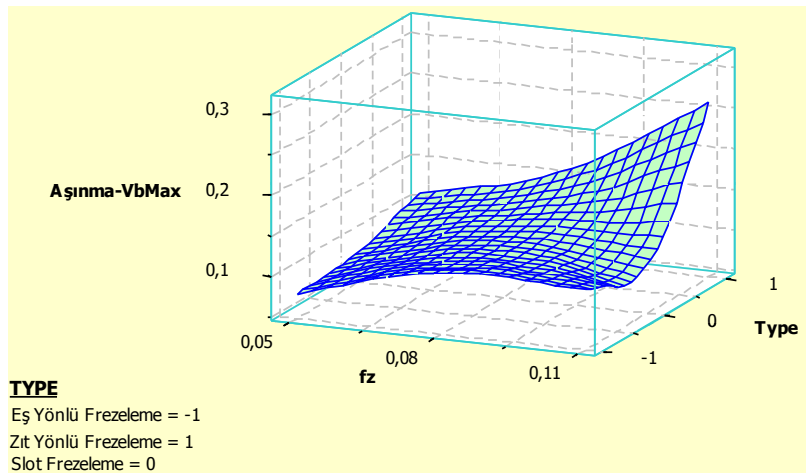
Şekil 5.18’de maksimum aşınmaların (VbMax) kesme hızı ile artış gösterdiği görülmüştür. Eş yönlü ve slot tip frezelemede kesme hızının en yüksek değerlerine doğru düşüşe geçtiği, en fazla aşınmanın zıt yönlüde olduğu daha sonra sırası ile eş yönlü ve slot frezelemede meydana geldiği görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi her noktada zıt yönlü frezelemedeki aşınmalar eş yönlü frezelemedeki aşınmalardan daha fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 5.18. Maksimum aşınmaların (V_{bMax}) kesme hızı (V_c) ve frezeleme tipi (Type) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

Maksimum aşınmaların (V_{bMax}) frezeleme tipi (Type) ve diş başı ilerlemesi (f_z) ile değişiminin 3 Boyutlu Grafiklerle İncelenmesi

Şekil 5.19’da görüldüğü gibi maksimum aşınmalar eş yönlü frezelemede diş başı ilerlemesinin 0,05mm/diş olduğu noktada en az değerde olup, 0,11 mm/diş olduğu zıt yönlü frezelemede maksimum değere ulaşmaktadır. Görüldüğü gibi her noktada zıt yönlü frezelemedeki aşınmalar eş yönlü frezelemedeki aşınmalardan daha fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 5.19. Maksimum aşınmaların V_{bMax} frezeleme tipi (Type) ve diş başı ilerlemesi (f_z) ile değişiminin 3 boyutlu grafiklerle incelenmesi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada frezeleme işlemlerinde eş yönlü ve zıt yönlü talaş kaldırmanın PVD kaplanmış sert metal uçların ömrüne etkisini incelemek amacıyla malzeme ve metot belirlenmiş, deneyler için gerekli malzemeler temin edilmiş, ön deneylerle asıl deneylerde kullanılacak kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu kesme parametreleri ve bir istatistik programı kullanılarak deney programı oluşturulmuş; bir CNC freze tezgâhında eş yönlü, zıt yönlü ve slot frezeleme işlemleri bu program doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici uçlar mikroskop altında aşınma tipleri açısından incelenmiş ve aşınma miktarları ölçülerek kayda alınmıştır. Pens ampermetre yardımıyla deneylerde tezgâhın çektiği akım değerleri kayda alınmıştır. Ölçümler, gözlemler ve incelemeler sonrasında elde edilen veriler değerlendirilerek, bir istatistik programı kullanılmak suretiyle analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada elde edilen önemli sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenebilir.

1. Aşınma miktarının en fazla olduğu bölgenin % 69 oranla talaş derinliğinin maksimum değerinin olduğu ve çentik aşınmasının gerçekleştiği bölge olan “c” bölgesi olduğu belirlenmiştir. Deneylerin % 17’sinde “c” bölgesinde çentik aşınmaları görülmüş, bu çentik aşınmalarının %71’i zıt yönlü frezelemede, %29’u slot frezelemede oluşmuştur. Eş yönlü frezelemede zıt yönlü ile aynı kesme parametreleri kullanıldığı halde hiç çentik aşınması oluşmamıştır.

Ölçülen en yüksek ilk 3 aşınma çentik aşınması ile zıt yönlü frezelemede meydana gelmiştir. Bu en yüksek 3 aşınmanın aritmetik ortalaması, geri kalan tüm asıl deneylerdeki aşınmalarının aritmetik ortalamasından ~1,5 kat daha fazladır.

2. Zıt yönlü frezeleme ile yapılan deneylerin %42’sinde çentik aşınması gerçekleştiği, slot tipi frezeleme ile yapılan deneylerin ise %11’lik kısmında

çentik aşınması kaydedilmiştir. Genelde çentik aşınmalarının olduğu deneylerde üniform aşınmalar (Vbab) daha fazla gerçekleşmiştir.

Basit regresyon analizi ve polinomiyal regresyon analizi ile kesme hızı, diş başı ilerleme ve frezeleme tipi ile üniform aşınma Vbab arasındaki ilişkiyi ifade eden denklemler elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen denklemlere V_c , f_z , Type değerleri koyularak Vbab-Aşınma değerleri bulunmuş olup; ölçülen Vbab-Aşınma değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu polinomiyal regresyon analizi sonucu elde edilen denklemle mevcut ölçülen aşınmalara yaklaşıldığı görülmektedir. Denklemle, AISI 304 paslanmaz çelik frezeleme işlemlerinde Iscar marka H490 ANKX 120508PNTR – IC 830 sert metal ucun kullanımında frezeleme işleminden önce V_c , f_z , Type değerleri denklemde yerine koyularak uç üzerindeki aşınma durumu önceden yaklaşık olarak tespit edilebilecektir.

3. Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi üniform aşınma değerlerinde eş yönlü frezeleme tipinde zıt yönlü frezelemeye oranla % 12,52 daha az aşınma meydana gelmiştir. Slot tipi frezeleme tipindeki aşınmaların zıt yönlüye oranla %12,92, eş yönlüye oranla % 0,46 daha az aşınma meydana gelmiştir. İstatistik programı ile % 95 güven aralığında aşınma ortalamaları ile de bu sonuçlara yakın değerler bulunmuştur (Çizelge 5.3).

Slot tipi frezelemede diğer iki frezeleme tipine göre daha az aşınmanın olmasının sebebi diğer tiplerin iki pasoda (sağdan ve soldan olmak üzere bir gidiş ve bir dönüşte) aldığı aynı miktar talaşı malzemeye ortadan girerek bir kerede alıyor olması olabilir. Eş ve zıt yönlü frezelemede malzemeye giriş sayısı aynı olmasına rağmen slot tipi frezelemede malzemeye giriş sayısı bunların yarısı kadardır. Dolayısıyla yarısı kadar talaşa giriş, yarısı kadar talaştan çıkış yapmaktadır. Bu da slot tipi frezelemede takımın diğerlerine göre yarı sayıda giriş ve yarı sayıda darbeye maruz kalması demektir. Slot tipi frezelemede diğer tiplere göre daha az aşınmaların olmasının sebebinin bunlar olabileceği düşünülmektedir.

4. (Anova) Varyans analizi sonucu kesme hızı ve frezeleme tipi için P değeri $P < 0,05$ bulunmuş, bu iki değişkenin üniform aşınmalar üzerinde önemli etkisi olan değişkenler olduğu tespit edilmiştir. Diş başına ilerleme için P değeri $P > 0,05$ bulunmuş bu değişkenin üniform aşınmalar üzerinde önemli etkisi olmayan değişken olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre bağımsız değişkenlerden diş başına ilerlemenin göz ardı edilerek dikkate alınmayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
5. Üniform aşınmalarının kesme hızı değişkeninin artmasıyla arttığı (Şekil 5.14, Şekil 5.15), ama kesme hızının maksimum noktalarına doğru aşınmalarda eş yönlüde artış olmasına karşılık, slot ve zıt yönlüde düşüşün gerçekleştiği görülmektedir.
6. Üniform aşınmaların 3 boyutlu grafiklerle incelenmesinde sonuç olarak, genelde her noktada zıt yönlü frezelemedeki aşınmaların eş yönlü frezelemedeki aşınmalardan daha fazla gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.
7. Kesme hızı ve ilerlemeler arttıkça belli bir değere kadar maksimum aşınmalar da artmakta, 80 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme değerlerine doğru Şekil 5.17'den de görüldüğü gibi aşınmalar tekrar düşmektedir. Bu da kesme hızı ve ilerleme değişkenlerinin değişiminin aşınmalar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.
8. Maksimum aşınmanın, eş yönlü ve slot tip frezelemede kesme hızının en yüksek değerlerine doğru düşüşe geçtiği, en fazla aşınmanın zıt yönlüde olduğu daha sonra sırası ile eş yönlü ve slot frezelemede meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.18).

KAYNAKLAR

1. Pala, Z., Ganev, N., Drahokoupil, J., Kolarik, K., "Characterization Of Up-Cut And Down-Cut Milled Surfaces By X-Ray Diffraction", **47th International Conference on Experimental Stress Analysis**, , Czech Republic, 188-193 (2009).
2. Toh, C.K., "Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel", **Journal of Materials Processing Technology** , 167(1):110-118 (2005).
3. Ryu, S.H., Chu, C.N., "The form error reduction in side wall machining using successive down and up milling", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 45 (12-13): 1523-1530 (2005).
4. Dweiri, F., Al-Jarrah, M., Al-Wedyan, H., "Fuzzy surface roughness modeling of CNC down milling of Alumatic-79", **Journal of Materials Processing Technology**, 133 (3): 266-275 (2003).
5. Insperger, T., Mann, B.P., Stépán, G., Bayly, P.V., "Stability of up-milling and down-milling, part 1: alternative analytical methods", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 43 (1): 25-34 (2003).
6. Mann, B.P., Insperger, T., Bayly, P.V., Stépán, G., "Stability of up-milling and down-milling, part 2: experimental verification" **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 43 (1): 35-40 (2003).
7. Schueler, G.M., Engmann, J., Marx, T., Haberland, R., Aurich, J.C., "Burr Formation and Surface Characteristics in Micro-End Milling of Titanium Alloys", **Proceedings of the CIRP International Conference on Burrs**, Germany, 129-138 (2009).
8. López de Lacalle , L.N., Lamikiz, A., Sánchez, J.A., Salgado, M.A., "Effects of tool deflection in the high-speed milling of inclined surfaces", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 24 (9-10): 621-631 (2004).
9. Long, X., Balachandran, B., "Stability of Up-milling and Down-milling Operations with Variable Spindle Speed", **Journal of Vibration and Control**, 16 (7-8): 1151-1168 (2010).
10. Şeker, U.,Günay, M.,"İM 322-Kesici Takım Tasarımı Ders Notları", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 59-100 (2008).
11. Özcan, E.,"CNC Tezgahlarda Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri", Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi**

Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 168 (2001).

12. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Ceylan Matbaacılık*, Bursa, 57-184 (1999).
13. Sandvik Coromant, Tools Catalogue, Sweden, (2012).
14. Gökkaya, H., Nalbant, M., Şeker U., “Talaş Kaldırma Sırasında Açığa Çıkan Isının Kesme Bölgesinde Oluşturduğu Sıcaklıkların Ölçülmesinde Kullanılan Yöntemler”, *Journal of Polytechnic*, 7(4): 297-305, (2004).
15. Taylan, F., “Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 49-50 (2009).
16. Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş A.Ş.*, Bursa, Türkiye, 219-347 (2000).
17. Şirin, E., “ AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezede İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-26 (2010).
18. Walter Kesici Takım kataloğu, Ankara, (2010).
19. ISCAR LTD. Member IMC Group, Complete Machining Solutions Rotating Tools Catalogue, Israel, Cilt 2 (2008).
20. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş ”, *Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 349-362 (2006).
21. Gökçe, B., Taşgetiren, S., “Kalite için Deney Tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1): 71-83 (2009).
22. Kasapoğlu, Ö.A., “Talaşlı İmalatta Bir Kalite Karakteristiğinin Modellenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 102-104 (2007).
23. Minitab 14 İstatistik Bilgisayar Programı (MINITAB® Release 14.1 Statistical Software) - Yardım (Help) Bölümü.
24. Xavier, M.A., Adithan, M., “Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel,” *Journal of Materials processing Technology*, 209, 900–909 (2009).
25. Tetel, K., “Machining of Stainless Steels Handbook,” 9th ed., *ASM*

International, 681 (1989).

26. Jiang, L., Roos, A., Liu, P., “The influence of austenite grain size and its distribution on chip deformation and tool life during machining of AISI 304L,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, 28(11): 2415–2422 (1997).
27. Chin, W.T., Tsai, C.S., “The Investigation on The Prediction of Tool Wearr And The Determination of Optimum Cutting Conditions In Machining 17-4PH Stainless Stell”, *Journal of Materials Prosesing Technology*, 340-345 (2003).
28. Sullivan, D., Cotterell, M., “Machinability of austenitic stainless steel SS303”, *Journal of Materials Processing Technology*, 124 (1-2):153-159 (2002).
29. Terzi, Y., “Minitab 13.0 Ders Notları” Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ed. Fak. İstatistik Bölümü, Afyon, 31-32 (2011).
30. Günel, A., “Regresyon Denkleminin Başarısını Ölçmede Kullanılan Belirleme Katsayısı ve Kritiği”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4 (2):133-140 (2003).
31. Özdamar, K., "Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1", *Kaan Yayın Evi*, Eskişehir, 36-573 (2002).

EKLER

EK-1.Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 1	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0625	0,055	2,34-2,38	
2×400 mm gidildi	0,065	0,055	2,35-2,38	
3×400 mm gidildi	0,065	0,055	2,34-2,40	
4×400 mm gidildi	0,070	0,070	2,24-2,37	

DENEY NO: 2	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=26(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,06	0,05	2,33-2,96	
2×400 mm gidildi	0,08	0,06	2,30-2,89	
3×400 mm gidildi	0,0825	0,06	2,28-2,89	
4×400 mm gidildi	0,080	0,060	2,24-2,92	

DENEY NO: 3	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=32(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,070	0,055	2,54-2,62	
2×400 mm gidildi	0,075	0,055	2,56-2,62	
3×400 mm gidildi	0,075	0,065	2,60-2,66	
4×400 mm gidildi	0,075	0,065	2,64-2,70	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 4	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,080	0,065	2,43-2,54	
2×400 mm gidildi	0,080	0,065	2,46-2,54	
3×400 mm gidildi	0,080	0,0675	2,26-2,38	
4×400 mm gidildi	0,085	0,0675	2,32-2,38	

DENEY NO: 5	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=12(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0675	0,055	2,34-2,67	
2×400 mm gidildi	0,070	0,055	2,30-2,61	
3×400 mm gidildi	0,0725	0,0575	2,28-2,62	
4×400 mm gidildi	0,075	0,060	2,28-2,62	

DENEY NO: 6	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,06	0,06	2,23-2,50	
2×400 mm gidildi	0,065	0,065	2,32-2,59	
3×400 mm gidildi	0,070	0,065	2,34-2,61	
4×400 mm gidildi	0,075	0,065	2,40-2,66	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 7	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,06	0,06	2,50-2,77	
2×400 mm gidildi	0,065	0,065	2,50-2,79	
3×400 mm gidildi	0,070	0,070	2,55-2,78	
4×400 mm gidildi	0,12	0,075	2,55-2,78	

DENEY NO: 8	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,070	0,05	2,42-2,78	
2×400 mm gidildi	0,070	0,06	2,31-2,66	
3×400 mm gidildi	0,075	0,070	2,23-2,61	
4×400 mm gidildi	0,095	0,0725	2,37-2,72	

DENEY NO: 9	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,06	0,06	2,55-2,70	
2×400 mm gidildi	0,07	0,07	2,58-2,82	
3×400 mm gidildi	0,075	0,075	2,54-2,75	
4×400 mm gidildi	0,195	0,06	2,54-2,83	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 10	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,14	0,065	2,46-2,50	
2×400 mm gidildi	0,185	0,07	2,43-2,49	
3×400 mm gidildi	0,205	0,085	2,41-2,50	
4×400 mm gidildi	0,265	0,085	2,46-2,50	

DENEY NO: 11	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0825	0,065	2,43-2,70	
2×400 mm gidildi	0,09	0,075	2,44-2,74	
3×400 mm gidildi	0,095	0,075	2,38-2,66	
4×400 mm gidildi	0,11	0,08	2,48-2,74	

DENEY NO: 12	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=70(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0875	0,070	2,98-3,28	
2×400 mm gidildi	0,113	0,075	3,02-3,14	
3×400 mm gidildi	0,115	0,075	3,00-3,30	
4×400 mm gidildi	0,115	0,075	3,02-3,10	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 13	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,180	0,065	2,36-2,56	
2×400 mm gidildi	0,215	0,070	2,46-2,60	
3×400 mm gidildi	0,235	0,080	2,44-2,62	
4×400 mm gidildi	0,2575	0,085	2,36-2,62	

DENEY NO: 14	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,060	0,060	2,60-2,64	
2×400 mm gidildi	0,065	0,060	2,54-2,58	
3×400 mm gidildi	0,085	0,075	2,56-2,62	
4×400 mm gidildi	0,205	0,115	2,56-2,60	

DENEY NO: 15	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=12(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,055	0,040	2,40-2,82	
2×400 mm gidildi	0,065	0,045	2,44-2,75	
3×400 mm gidildi	0,075	0,05	2,60-2,92	
4×400 mm gidildi	0,09	0,065	2,56-2,88	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 16	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=26(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,07	0,06	2,54-3,06	
2×400 mm gidildi	0,07	0,06	2,54-3,10	
3×400 mm gidildi	0,08	0,07	2,50-3,08	
4×400 mm gidildi	0,105	0,075	2,41-3,10	

DENEY NO: 17	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,06	0,06	2,58-2,66	
2×400 mm gidildi	0,065	0,065	2,52-2,58	
3×400 mm gidildi	0,070	0,070	2,52-2,56	
4×400 mm gidildi	0,135	0,09	2,52-2,64	

DENEY NO: 18	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,05	0,05	2,38-2,52	
2×400 mm gidildi	0,055	0,055	2,36-2,54	
3×400 mm gidildi	0,06	0,06	2,44-2,54	
4×400 mm gidildi	0,0725	0,06	2,50-2,62	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 19	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,08	0,06	2,41-2,74	
2×400 mm gidildi	0,085	0,0675	2,42-2,72	
3×400 mm gidildi	0,095	0,075	2,44-2,76	
4×400 mm gidildi	0,0975	0,08	2,46-2,76	

DENEY NO: 20	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,075	0,065	2,34-2,48	
2×400 mm gidildi	0,115	0,080	2,34-2,44	
3×400 mm gidildi	0,125	0,085	2,38-2,48	
4×400 mm gidildi	0,14	0,090	2,43-2,60	

DENEY NO: 21	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,07	0,055	2,45-2,65	
2×400 mm gidildi	0,07	0,060	2,54-2,71	
3×400 mm gidildi	0,075	0,065	2,50-2,73	
4×400 mm gidildi	0,075	0,0675	2,50-2,74	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 22	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=32(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,075	0,06	2,68-2,73	
2×400 mm gidildi	0,075	0,06	2,78-2,82	
3×400 mm gidildi	0,080	0,06	2,78-2,84	
4×400 mm gidildi	0,080	0,07	2,84-2,91	

DENEY NO: 23	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,065	0,05	2,52-2,82	
2×400 mm gidildi	0,0675	0,06	2,53-2,82	
3×400 mm gidildi	0,085	0,06	2,42-2,72	
4×400 mm gidildi	0,095	0,07	2,42-2,72	

DENEY NO: 24	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,135	0,0775	2,42-2,62	
2×400 mm gidildi	0,17	0,09	2,53-2,74	
3×400 mm gidildi	0,18	0,095	2,53-2,75	
4×400 mm gidildi	0,215	0,1	2,53-2,76	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 25	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,13	0,0725	2,60-2,64	
2×400 mm gidildi	0,185	0,0825	2,57-2,68	
3×400 mm gidildi	0,190	0,090	2,66-2,73	
4×400 mm gidildi	0,21	0,095	2,65-2,71	

DENEY NO: 26	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=70(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,075	0,06	2,84-2,96	
2×400 mm gidildi	0,08	0,07	2,84-2,98	
3×400 mm gidildi	0,09	0,075	2,88-2,98	
4×400 mm gidildi	0,105	0,075	2,90-3,01	

DENEY NO: 27	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0425	0,0375	2,43-2,73	
2×400 mm gidildi	0,0525	0,0425	2,50-2,78	
3×400 mm gidildi	0,0575	0,045	2,48-2,78	
4×400 mm gidildi	0,06	0,0475	2,47-2,79	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 28	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0725	0,0575	2,73-2,96	
2×400 mm gidildi	0,080	0,0675	2,73-3,01	
3×400 mm gidildi	0,085	0,075	2,73-3,01	
4×400 mm gidildi	0,09	0,0825	2,70-3,00	

DENEY NO: 29	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=12(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,065	0,045	2,50-2,80	
2×400 mm gidildi	0,075	0,0525	2,35-2,66	
3×400 mm gidildi	0,0775	0,06	2,40-2,68	
4×400 mm gidildi	0,0825	0,065	2,33-2,67	

DENEY NO: 30	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=70(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,07	0,06	2,90-2,95	
2×400 mm gidildi	0,08	0,065	2,90-2,98	
3×400 mm gidildi	0,0925	0,075	2,92-3,04	
4×400 mm gidildi	0,135	0,0925	2,94-3,05	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 31	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0675	0,0675	2,55-2,80	
2×400 mm gidildi	0,075	0,0675	2,55-2,80	
3×400 mm gidildi	0,0775	0,0675	2,56-2,83	
4×400 mm gidildi	0,095	0,0725	2,56-2,83	

DENEY NO: 32	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
ZIT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,095	0,065	2,58-2,65	
2×400 mm gidildi	0,12	0,07	2,60-2,64	
3×400 mm gidildi	0,13	0,075	2,63-2,68	
4×400 mm gidildi	0,165	0,08	2,65-2,72	

DENEY NO: 33	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=32(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,08	0,0675	2,74-2,78	
2×400 mm gidildi	0,085	0,070	2,70-2,79	
3×400 mm gidildi	0,090	0,075	2,78-2,80	
4×400 mm gidildi	0,0925	0,075	2,77-2,82	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 34	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,085	0,07	2,58-2,67	
2×400 mm gidildi	0,09	0,08	2,59-2,67	
3×400 mm gidildi	0,1	0,08	2,38-2,58	
4×400 mm gidildi	0,105	0,0825	2,42-2,52	

DENEY NO: 35	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,065	0,0525	2,56-2,72	
2×400 mm gidildi	0,0725	0,0625	2,56-2,70	
3×400 mm gidildi	0,0725	0,065	2,56-2,70	
4×400 mm gidildi	0,0875	0,07	2,50-2,70	

DENEY NO: 36	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=48(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,19	0,0825	2,52-2,73	
2×400 mm gidildi	0,21	0,095	2,57-2,78	
3×400 mm gidildi	0,23	0,12	2,57-2,75	
4×400 mm gidildi	0,31	0,135	2,55-2,80	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 37	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
ZİT YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,08	0,055	2,53-2,79	
2×400 mm gidildi	0,0725	0,06	2,48-2,77	
3×400 mm gidildi	0,085	0,07	2,54-2,77	
4×400 mm gidildi	0,0875	0,07	2,55-2,84	

DENEY NO: 38	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,05(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=22(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,075	0,06	2,52-2,68	
2×400 mm gidildi	0,075	0,07	2,58-2,65	
3×400 mm gidildi	0,075	0,075	2,59-2,63	
4×400 mm gidildi	0,0825	0,075	2,65-2,81	

DENEY NO: 39	$V_C=55(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=438(\text{dev/dk})$	$V_F=35(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,08	0,075	2,82-3,04	
2×400 mm gidildi	0,085	0,075	2,81-3,04	
3×400 mm gidildi	0,0875	0,0775	2,84-3,06	
4×400 mm gidildi	0,1925	0,075	2,86-3,05	

EK-1.(Devam) Deney aşınma ve akım sonuçları

DENEY NO: 40	$V_C=80(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=637(\text{dev/dk})$	$V_F=51(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,065	0,06	2,83-2,87	
2×400 mm gidildi	0,070	0,0625	2,75-2,87	
3×400 mm gidildi	0,0875	0,075	2,73-2,77	
4×400 mm gidildi	0,14	0,09	2,76-2,83	

DENEY NO: 41	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,08(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=19(\text{mm/dk})$
EŞ YÖNLÜ	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0575	0,0575	2,30-2,56	
2×400 mm gidildi	0,06	0,0575	2,32-2,64	
3×400 mm gidildi	0,08	0,06	2,33-2,63	
4×400 mm gidildi	0,09	0,0575	2,45-2,69	

DENEY NO: 42	$V_C=30(\text{m/dk})$	$F_Z=0,11(\text{mm/z})$	$N=239(\text{dev/dk})$	$V_F=26(\text{mm/dk})$
SLOT	AŞINMA		A, AKIM DEĞİŞİMİ	
	Max. Aşınma	Üniform		
1×400 mm gidildi	0,0725	0,065	2,70-3,14	
2×400 mm gidildi	0,08	0,065	2,44-2,94	
3×400 mm gidildi	0,09	0,07	2,44-2,93	
4×400 mm gidildi	0,0925	0,0725	2,42-2,95	

EK-2.Aşınma miktarlarının kontrol amaçlı tekrar ölçüm sonuçları

RunOrder Deney No	Type	Kesme Parametreleri		Aşınma Şekli Çentik=Ç Uniform=Ü	AŞINMA 2. ÖLÇÜMLERİ				AKIM (Ortalama Hesapları)				
		Vc	fz		Aşınma Vbab	Aşınma VbMax a	Aşınma VbMax c	Aşınma VbMax	Akım (Ortalama)	Akım (minimum)	Akım (maksimum)	Akım-2 (minimum)	Akım-2 (maksimum)
1	-1	55	0,05	Ü	0,07			0,07	2,305	2,24	2,37		
2	0	30	0,11	Ç	0,06		0,08	0,08	2,58	2,24	2,92		
3	0	80	0,05	Ç	0,065		0,075	0,075	2,67	2,64	2,7		
4	1	55	0,05	Ü	0,0675		0,085	0,085	2,35	2,32	2,38		
5	0	30	0,05	Ü	0,06		0,075	0,075	2,45	2,28	2,62		
6	1	30	0,08	Ü	0,065	0,12	0,075	0,12	2,53	2,4	2,66		
7	0	55	0,08	Ü	0,075	0,12	0,09	0,12	2,665	2,55	2,78		
8	-1	30	0,08	Ü	0,0725	0,08	0,095	0,095	2,545	2,37	2,72		
9	-1	55	0,11	Ü	0,06	0,0775	0,195	0,195	2,69	2,54	2,79	2,6	2,83
10	1	80	0,08	Ç	0,085	0,1225	0,265	0,265	2,48	2,46	2,5		
11	0	55	0,08	Ü	0,08		0,11	0,11	2,61	2,48	2,74		
12	0	80	0,11	Ü	0,075		0,115	0,115	3,06	3,02	3,1		
13	1	55	0,11	Ç	0,085		0,2575	0,2575	2,505	2,42	2,62	2,36	2,62
14	-1	80	0,08	Ü	0,115	0,205		0,205	2,58	2,56	2,6		
15	0	30	0,05	Ü	0,065		0,09	0,09	2,72	2,56	2,88		
16	0	30	0,11	Ü	0,075	0,105	0,085	0,105	2,755	2,41	3,1		
17	-1	80	0,08	Ü	0,09	0,12	0,135	0,135	2,58	2,52	2,64		
18	-1	55	0,05	Ü	0,06	0,0725	0,07	0,0725	2,555	2,5	2,62	2,5	2,6
19	0	55	0,08	Ü	0,08		0,0975	0,0975	2,61	2,46	2,76		
20	1	55	0,05	Ç	0,09		0,14	0,14	2,5	2,44	2,6	2,43	2,53
21	-1	55	0,11	Ü	0,0675	0,075	0,075	0,075	2,618	2,53	2,74	2,5	2,7
22	0	80	0,05	Ü	0,07		0,08	0,08	2,875	2,84	2,91		
23	1	30	0,08	Ü	0,07	0,095		0,095	2,585	2,53	2,67	2,42	2,72
24	1	55	0,11	Ü	0,1		0,215	0,215	2,643	2,53	2,75	2,53	2,76
25	1	80	0,08	Ü	0,095	0,125	0,21	0,21	2,683	2,66	2,71	2,65	2,71
26	0	80	0,11	Ü	0,075		0,105	0,105	2,955	2,9	3,01		
27	-1	30	0,08	Ü	0,0475	0,06	0,06	0,06	2,62	2,47	2,75	2,47	2,79
28	0	55	0,08	Ü	0,0825		0,09	0,09	2,85	2,7	3		
29	0	30	0,05	Ü	0,065		0,0825	0,0825	2,5	2,33	2,67		
30	0	80	0,11	Ü	0,0925		0,135	0,135	2,995	2,94	3,05		
31	0	55	0,08	Ü	0,0725		0,095	0,095	2,695	2,56	2,83		
32	1	80	0,08	Ç	0,08	0,115	0,165	0,165	2,678	2,65	2,69	2,65	2,72
33	0	80	0,05	Ü	0,075	0,0925	0,0925	0,0925	2,795	2,77	2,82		
34	1	55	0,05	Ü	0,0825	0,095	0,105	0,105	2,47	2,42	2,5	2,44	2,52
35	-1	55	0,11	Ü	0,07	0,0875	0,0875	0,0875	2,59	2,5	2,64	2,52	2,7
36	1	55	0,11	Ç	0,135		0,31	0,31	2,675	2,55	2,8		
37	1	30	0,08	Ü	0,07	0,0875	0,0875	0,0875	2,695	2,55	2,79	2,6	2,84
38	-1	55	0,05	Ü	0,075		0,0825	0,0825	2,733	2,65	2,74	2,73	2,81
39	0	55	0,08	Ü	0,075	0,1925	0,105	0,1925	2,955	2,86	3,05		
40	-1	80	0,08	Ü	0,09	0,1	0,14	0,14	2,795	2,77	2,82	2,76	2,83
41	-1	30	0,08	Ü	0,0575	0,09	0,09	0,09	2,553	2,45	2,69	2,4	2,67
42	0	30	0,11	Ü	0,0725		0,095	0,095	2,685	2,42	2,95		

EK-3.Analiz sonucu Vbab regresyon denklemi ile elde edilen değerler

RunOrder Deney No	Aşınma-Vbab- ölçülen	Aşınma-Vbab- Regresyon Denklemi ile Hesaplanan	Vc	fz	Type
2	0,06	0,07217	30	0,11	0
5	0,06	0,06197	30	0,05	0
6	0,065	0,07332	30	0,08	1
8	0,0725	0,06082	30	0,08	-1
15	0,065	0,06197	30	0,05	0
16	0,075	0,07217	30	0,11	0
23	0,07	0,07332	30	0,08	1
27	0,0475	0,06082	30	0,08	-1
29	0,065	0,06197	30	0,05	0
37	0,07	0,07332	30	0,08	1
41	0,0575	0,06082	30	0,08	-1
42	0,0725	0,07217	30	0,11	0
1	0,07	0,065195	55	0,05	-1
4	0,0675	0,077695	55	0,05	1
7	0,075	0,076545	55	0,08	0
9	0,06	0,075395	55	0,11	-1
11	0,08	0,076545	55	0,08	0
13	0,085	0,087895	55	0,11	1
18	0,06	0,065195	55	0,05	-1
19	0,08	0,076545	55	0,08	0
20	0,09	0,077695	55	0,05	1
21	0,0675	0,075395	55	0,11	-1
24	0,1	0,087895	55	0,11	1
28	0,0825	0,076545	55	0,08	0
31	0,0725	0,076545	55	0,08	0
34	0,0825	0,077695	55	0,05	1
35	0,07	0,075395	55	0,11	-1
36	0,135	0,087895	55	0,11	1
38	0,075	0,065195	55	0,05	-1
39	0,075	0,076545	55	0,08	0
3	0,065	0,08092	80	0,05	0
10	0,085	0,09227	80	0,08	1
12	0,075	0,09112	80	0,11	0
14	0,115	0,07977	80	0,08	-1
17	0,09	0,07977	80	0,08	-1
22	0,07	0,08092	80	0,05	0
25	0,095	0,09227	80	0,08	1
26	0,075	0,09112	80	0,11	0
30	0,0925	0,09112	80	0,11	0
32	0,08	0,09227	80	0,08	1
33	0,075	0,08092	80	0,05	0
40	0,09	0,07977	80	0,08	-1

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜREKLİ, Yıleri
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 31.12.1970 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 296 13 04
 e-mail : y-yurekli@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üni. /Makina Müh. Bölümü	2012
Lisans	Gazi Üni./ Makina Müh. Bölümü	1993
Lise	Ankara Cumhuriyet Lisesi	1987

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1993-1993	KİSKA Kom. Şti. / Dicle Barajı	Makina Bakım Mühendisi
1994-2003	MKE Çankırı Silah Fb.	Atölye Mühendisi
2003-2005	MKE Çankırı Silah Fb.	Planlama Mühendisi
2003-2005	MKE Çankırı Silah Fb.	Isı Santrali Mühendisi
2005-2005	MKE Barutsan Roket ve Pat Fb.	Atölye Mühendisi
2006-2006	MKE Ağır Silah Fb.	M60 Projesi Mühendisi
2006-2006	MKE Barutsan Roket ve Pat Fb.	Atölye Mühendisi
2006-2008	MKE Genel Müdürlüğü	Verimlilik Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Satranç, Türk Halk Müziği (Bağlama), Body Building, Excel-Word Visual Basic Programlama, Cad-Cam vb. Bilgisayar Teknolojileri.