

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TORNALAMADA TALAŞ KALDIRMA PARAMETRELERİNİN
TAKIM ÖMRÜNE ETKİLERİNİN TAGUCHİ YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ**

OĞUZ ÇALIŞKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ERHAN ALTAN**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TORNALAMADA TALAŞ KALDIRMA PARAMETRELERİNİN
TAKIM ÖMRÜNE ETKİLERİNİN TAGUCHİ YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ**

Oğuz ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 24.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

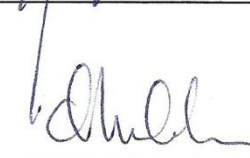
Dr. Alper UYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında büyük emeği olan, saygıdeğer danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a yaptığı yardımlardan, verdiği destekten ve gösterdiği derin hoşgörüden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Dr. Alper UYSAL'a ve ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini hiç esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Temmuz, 2014

Oğuz ÇALIŞKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	9
1.3 Orijinal Katkı.....	10
BÖLÜM 2	
TALAŞ KALDIRMA ESASLARI	12
2.1 Talaş Kaldırmanın Tanımı	12
2.2 Talaş Kaldırma Metotları	12
2.2.1 Tornalama.....	12
2.2.2 Frezeleme	13
2.2.3 Delme	14
2.2.4 Planyalama ve Vargelleme	15
2.2.5 Taşlama.....	15
2.3 Talaş Oluşumu.....	16
2.4 Talaş Tipleri	16
2.4.1 Sürekli Talaş	17
2.4.2 Sürekli (Kesintili) Talaş	17

2.4.3	Yığma Talaş	19
2.5	Talaş Kaldırma Faktörleri	20
2.5.1	Kesme Hızı.....	20
2.5.2	İlerleme.....	21
2.5.3	Kesme Derinliği	21

BÖLÜM 3

TAKIM AŞINMASI	23
3.1 Giriş.....	23
3.2 Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler	25
3.3 Aşınma Mekanizmaları	25
3.3.1 Abrasyon Aşınma (Mekanik Aşınma) Mekanizması	26
3.3.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması	27
3.3.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması	28
3.3.4 Yorulma Aşınma Mekanizması.....	28
3.3.5 Adhezyon Aşınma Mekanizması	29
3.4 Aşınma Tipleri	30
3.4.1 Serbest Yüzey Aşınması	31
3.4.2 Krater Aşınması	31
3.4.3 Çentik Aşınması.....	32
3.4.4 Burun Yarıçapı Aşınması	33
3.4.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar	34
3.4.6 Yığma Ağız Oluşumu	35
3.4.7 Plastik Deformasyon	36
3.5 Takım Ömrü	37
3.5.1 Takım Ömrüne Etki Eden Faktörler	37
3.5.1.1 Kesme Şartları.....	38
3.5.1.2 Takım Geometrisi.....	38
3.5.1.3 Takım Malzemesi	38
3.5.1.4 İş Parçası Malzemesi	38

BÖLÜM 4

DENEYSEL TASARIM.....	40
4.1 Deney Tasarımı ve Modelleme Teknikleri	40
4.2 Taguchi Metodu	42
4.2.1 Taguchi Metodunun Gelişimi.....	43
4.2.2 Taguchi Felsefesi	43
4.2.3 Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi	44
4.2.3.1 Sistem Tasarımı.....	46
4.2.3.2 Parametre Tasarımı.....	47
4.2.3.3 Tolerans Tasarımı.....	47
4.2.3.3.1 En Büyük En İyi.....	48
4.2.3.3.2 En Küçük En İyi	48
4.2.3.3.3 Hedef Değer En İyi.....	48
4.3 ANOVA (Varyans Analizi)	48

4.3.1	Kareler Toplamı.....	50
4.3.2	Serbestlik Derecesi.....	50
4.3.3	Varyans	51
4.3.4	F Testi	52
BÖLÜM 5		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		54
5.1	Deneylerde Kullanılan İş Parçası ve Kesici Takım.....	54
5.1.1	İş Parçası	54
5.1.2	Kesici Takım	55
5.2	Deneylerde Kullanılan Tezgâh, Cihaz ve Ekipmanlar	57
5.3	Deneyisel Çalışmalarda Kullanılacak İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Planlanması.....	58
5.4	Deney Sonuçları	60
5.4.1	Birinci Bölge Deney Sonuçları	60
5.4.2	İkinci Bölge Deney Sonuçları.....	64
5.4.3	Üçüncü Bölge Deney Sonuçları	70
5.4.4	Aşınma Bölgelerini ve Takım Ömrünü Arttırmayı Esas Alan Doğrulama Deneyleri	76
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		80
KAYNAKLAR		83
ÖZGEÇMİŞ		88

SİMGE LİSTESİ

a	Kesme derinliği, mm
D	İş parçası çapı, mm
f	İlerleme, mm/dev
K	Takım geometrisi ve takım-iş parçası için bir sabit
k_A	A faktörünün kademe sayısı
n	Devir sayısı, dev/dak
N	Elde edilen toplam veri sayısı
n_A	A faktörü için veri sayısı
SS_T	Tüm değerlerin kareleri toplamı
SS_A	A faktörü için kareler toplamı
SS_o	Hata kareleri toplamı
T_T	Takım ömrü
T	Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması
V	Kesme hızı, m/dak
V_A	A'nın serbestlik derecesi
$V_{A \times B}$	A ve B interaksiyonunun serbestlik derecesi
V_o	Hata varyansı
V_T	Toplam serbestlik derecesi
y_i	Gözlenmiş değer

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
BUE	Built-Up-Edge (Yığılma Ağız)
CNC	Computer Numerical Control
HRC	Rockwell Sertliği
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
S/N	Sinyal/Gürültü, db
YT	Yığılma Talaş
WC	Tungsten Carbide (Tungsten Karbür)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	AISI 304 östenitik çeliğin tornalanmasında kesme hızı ve ilerlemeye göre serbest yüzey aşınma değerleri	6
Şekil 1.2	Kesici takım aşınma bölgeleri	10
Şekil 2.1	Tornalama çeşitleri	13
Şekil 2.2	Frezeleme çeşitleri	14
Şekil 2.3	Matkap ile delme işlemi	14
Şekil 2.4	Planyalama ve vargelleme işlemleri	15
Şekil 2.5	Taşıma çeşitleri	16
Şekil 2.6	Sürekli talaş	17
Şekil 2.7	Kesintili talaş	18
Şekil 2.8	Yığma talaş (YT)	19
Şekil 3.1	Takım aşınmasının zamana göre değişimi	24
Şekil 3.2	Abrasyon aşınması mekanizması	26
Şekil 3.3	Difüzyon aşınması mekanizması	27
Şekil 3.4	Oksidasyon aşınması mekanizması	28
Şekil 3.5	Yorulma aşınması mekanizması	29
Şekil 3.6	Adhezyon aşınması mekanizması	29
Şekil 3.7	Kesici takım aşınma tipleri	30
Şekil 3.8	Kesici takım serbest yüzey aşınması	31
Şekil 3.9	Kesici takım krater aşınması	32
Şekil 3.10	Kesici takım çentik aşınması	33
Şekil 3.11	Kesici takım burun aşınması	34
Şekil 3.12	Kesici takım ısı çatlaklar	35
Şekil 3.13	Kesici takım yığma ağız (BUE) oluşumu	35
Şekil 3.14	Kesici takım plastik deformasyonu	36
Şekil 4.1	Prosesin genel modeli	40
Şekil 4.2	Taguchi' nin kalite kontrol sistemi	45
Şekil 4.3	Taguchi metodunun sistematığı	46
Şekil 5.1	AISI 1040 iş parçası	54
Şekil 5.2	Kesici uç (Böhler SPUN 120308-P40) geometrisi ve ölçüleri	56
Şekil 5.3	Takım tutucu (Takımsaş CSBPL 2525 M 12) geometrisi ve ölçüleri	57
Şekil 5.4	Goodway GA-230 CNC torna tezgâhı	57
Şekil 5.5	SOIF marka XJP-2 model optik mikroskop	58
Şekil 5.6	Birinci bölge takım aşınma değerleri	61

Şekil 5.7 Birinci bölge 15. saniyedeki S/N oranları	62
Şekil 5.8 Birinci bölge 15.saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri	63
Şekil 5.9 Birinci bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri	64
Şekil 5.10 İkinci bölge takım aşınma değerleri	65
Şekil 5.11 İkinci bölge 140. saniyedeki S/N oranları	66
Şekil 5.12 İkinci bölge 140. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri	68
Şekil 5.13 İkinci bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri	69
Şekil 5.14 Üçüncü bölge takım aşınma değerleri	70
Şekil 5.15 Üçüncü bölgede 80. saniyedeki S/N oranları	71
Şekil 5.16 Üçüncü bölge 80. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri	73
Şekil 5.17 Üçüncü bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri	74
Şekil 5.18 Takım aşınma bölgelerindeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri	75
Şekil 5.19 AISI 1040 kesici takım aşınma grafiği	77
Şekil 5.20 AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında 120. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri	78
Şekil 5.21 AISI 4140 kesici takım aşınma grafiği	78
Şekil 5.22 AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında 50. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri	79

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi	55
Çizelge 5.2 AISI 1040 çeliğinin mekanik özellikleri	55
Çizelge 5.3 AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi	55
Çizelge 5.4 AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri	55
Çizelge 5.5 P40 Kesici takım kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri	55
Çizelge 5.6 Goodway GA-230 CNC torna tezgâhının özellikleri	57
Çizelge 5.7 Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri	59
Çizelge 5.8 L ₉ ortagonal dizisi	59
Çizelge 5.9 Birinci bölge 15. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları	61
Çizelge 5.10 Birinci bölge 15. saniyedeki S/N oranları	62
Çizelge 5.11 Birinci bölge 15. saniyedeki ANOVA sonuçları	63
Çizelge 5.12 İkinci bölge 140. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları	66
Çizelge 5.13 İkinci bölge 140. saniyedeki S/N oranları	67
Çizelge 5.14 İkinci bölge 140. saniyedeki ANOVA sonuçları	68
Çizelge 5.15 Üçüncü bölge 80. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları ..	71
Çizelge 5.16 Üçüncü bölge 80. saniyedeki S/N oranları	72
Çizelge 5.17 Üçüncü bölge 80. saniyedeki ANOVA sonuçları	73
Çizelge 5.18 Doğrulama deneylerinde kullanılan talaş kaldırma parametreleri	73

**TORNALAMADA TALAŞ KALDIRMA PARAMETRELERİNİN
TAKIM ÖMRÜNE ETKİLERİNİN TAGUCHİ YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ**

Oğuz ÇALIŞKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Eş Danışman: Dr. Alper UYSAL

Talaşlı şekillendirmede takım aşınmasının az, takım ömrünün fazla olması istenir. Takım aşınmasının minimum olması için çalışılan koşullarda talaş kaldırma parametrelerinin optimum değerlerde seçilmesi gerekmektedir. Böylelikle yüzey kalitesinin artırılması ve işlem maliyetinin düşürülmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada; kesici takım aşınma eğrisinde görülen her üç bölge için aşınmalar AISI 1040 çelik malzeme, kaplamasız WC (Tungsten Karbür) kesici takımlar kullanılarak farklı kesme hızları, ilerleme ve kesme derinliklerinde tornalanarak incelenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen veriler, Taguchi metodu ve ANOVA (Varyans Analizi) kullanılarak değerlendirilmiş olup, optimum talaş kaldırma parametreleri ve parametrelerin aşınma bölgelerindeki etkinlik değerleri bulunmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, birinci bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu ve takım aşınma değerinin ilerlemenin artmasıyla artış gösterdiği gözlenmiştir. İlerlemenin bu bölgede etkinliğinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin ise birinci bölgede takım aşınması üzerine etkisinin az olduğu belirlenmiştir. İkinci bölgede, kesme hızının ve ilerlemenin etkinlik oranlarının birbirine çok yakın olduğu ve her iki parametrenin de bu bölgede etkin çıktığı görülmüştür. Kesme derinliği etkinliğinin ise az olduğu belirlenmiştir. Üçüncü bölgede, en etkin parametrenin

ilerleme olduğu bulunmuştur. Bu bölgede kesme hızı ve ilerlemenin takım aşınması üzerine etkili olduğu, kesme derinliğinin etkisinin az olduğu görölmüştür.

Sonuç olarak, 1040 ve 4140 çelik malzemeleri için kesici takım ömrünün arttırılmasına yönelik talaş kaldırma parametreleri belirlenmiş ve böylelikle talaş kaldırma parametrelerinin bölgelerdeki etkinlikleri bilinerek uygulamadaki küçük değışimlerle takım aşınmasında önemli ölçüde iyileştirme elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, takım aşınması, Taguchi metodu, ANOVA

**INVESTIGATION EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON TOOL LIFE IN
TURNING OPERATION BY TAGUCHI METHOD**

Oğuz ÇALIŞKAN

Department of Mechanical Engineering
Master Thesis

Adviser: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Co-Adviser: Dr. Alper UYSAL

In machining operations, the low tool wear and high tool life are desired. The cutting parameters should be selected at optimal values to obtain minimum tool wear at the conditions studied. Thereby, the improving surface quality of the workpiece and the reducing operation cost are provided.

In this study, the cutting tool wears were examined for each wear zone in the cutting tool wear curve by turning of AISI 1040 steel with uncoated WC (Tungsten Carbide) cutting tools at different cutting speeds, feeds and depths of cut for all three regions seen in the cutting tool wear curve. The data obtained from experiments were evaluated by using Taguchi method and ANOVA (Analysis of Variance) and the optimum cutting parameters and efficiency values of these parameters in wear zones were determined.

As a result of experimental studies, it was observed that the most effective parameter was feed and tool wear increased as increasing the feed in the first wear zone. In this wear zone, it was obtained that the efficiency of feed were considerable. In addition, it was determined that the depth of cut had minimum effect on tool wear in the first wear zone. In the second wear zone, it was observed that the efficiency ratios of the cutting speed and the feed were very close to each other and both parameters had effective. The effectiveness of the depth of cut was determined as small. In the third

wear zone, it was seen that the most effective parameter was feed. In this wear zone, it was obtained that the cutting speed and the feed had much more effect than the depth of cut on the tool wear.

As a conclusion, the cutting parameters were determined to increase the tool life in turning of AISI 1040 and 4140 steels. Thus, the significant improvements in tool life were obtained by small changes in turning operations when the efficiencies of cutting parameters were known for each wear zone.

Keywords: Turning, tool wear, Taguchi Method, ANOVA

1.1 Literatür Özeti

Üretimi etkileyen ve önemli faktörlerden biri takım aşınmasıdır. Takım aşındıkça işleme kalitesi bozulmakta ve ayrıca takım aşınması arttıkça parçaların işleme maliyetleri de artmaktadır. Etkili bir üretimde kalite, verimlilik ve ekonomikliğı bir arada düşünmek gerekmektedir. Üretim stratejileri belirlenirken bunların hepsi göz önünde bulundurularak hedef fonksiyonlar belirlenmelidir. Tornalamada, talaş kaldırma parametrelerinin maksimum takım ömrü hedef fonksiyonuna göre seçilirken toplam işleme maliyeti dikkate alınmalıdır.

Bu güne kadar takım aşınması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Malzemeye, takım cinsine ve geometrisine, malzemenin içerisindeki katkı maddelerine, titreşime, sıcaklığa, talaş kaldırma parametrelerine ve işlem esnasında soğutma sıvısı kullanımına bağlı olan çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Balanzinski ve Ennajimi (1984), tornalama işleminde ilerlemenin takım aşınmasına olan etkisini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda AISI 630 paslanmaz çelik malzemesi ile yapılan tornalama işleminde, birim zamanda kaldırılan talaş miktarının sabit tutulmasıyla karşılaştırıldığında ilerlemenin uygun bir varyasyonuyla takım aşınmasının %30 azaltıldığı ve takım ömrünün önemli ölçüde arttığı görülmüştür [1].

Soderberg, S. ve Hogmark, S. (1986), yüksek hız çeliklerinde görülen aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda; HSS (yüksek hız çelikleri) takımlarda abrazyon, aşırı abrazyon, adheziv aşınma, kenar çentiklenmesi ve

sürekli aşınma olmak üzere beş çeşit aşınma mekanizması oluştuğunu belirtmişler ve bu aşınma mekanizmalarının oluşma şartlarını tanımlamışlardır [2].

Mondolski (1990), takım aşınmasını incelerken; takım-talaş ara yüzeyindeki talaş temas uzunluğunun değiştirilmesiyle takım ömrünün arttırılabileceğinin mümkün olduğunu bulmuştur. Bu araştırma bu alanda daha ileri araştırmalar için temel oluşturmuştur [3].

Lim ve arkadaşları (1993), HSS takımların serbest yüzey aşınmalarını, ilerleme ve kesme hızının bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir aşınma diyagramı oluşturmuşlardır. Bu tür takımlar için takım aşınmasının minimum olduğu güvenli bölge adı verilen bir alan tanımlamışlar ve böylece en uygun talaş kaldırma şartlarının oluşturulabilmesi için bu alan içerisinde çalışılmasını önermişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri veriler, sadece yüksek hız çeliğinden yapılmış belirli geometrideki belirli talaş kaldırma koşulları için geçerli olmuştur [4], [5].

Arsecularatne ve arkadaşları (1996), talaş kaldırma teorisinden elde edilen sıcaklıkları kullanarak takım ömrünün hesaplanabilmesi için bir yöntem önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlardan; takım ömrünü etkileyen en önemli faktörün kesme hızı olduğunu daha sonra ilerleme, talaş açısı ve iş parçası karbon içeriğinin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca incelenen kesici takım için eğim açısının ve kesme derinliğinin de takım aşınmasında etkili olduğunu söylemişlerdir [6].

Chouldhury A. ve El-Baradie M. A. (1998) tarafından yapılan çalışmada, Inconel 718'in işlenmesinde bir CNC torna tezgâhı kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımlar ile üç dizi çalışma sonucunda takım aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk deney dizisi değişik kesme hızlarında, ilerleme 0.20 mm/dev ve kesme derinliği 1 mm sabit alınarak gerçekleştirilmiştir. İkinci deney dizisinde ilerleme değiştirilirken kesme hızı 20 m/dak ve kesme derinliği 1 mm alınarak sabit tutulmuştur. Üçüncü deney dizisinde kesme derinliği değiştirilmiş, ilerleme 0,20 mm/dev ve kesme hızı 20 m/dak sabit değerde alınmıştır. Kesici takım aşınma miktarları değerlendirilirken ISO 3685 standardı kullanılmıştır. Tüm deneyler yeni takım ile başlatılmış ve talaş kaldırma işlemi belirli aralıklarla durdurularak kesici takım aşınma değerleri ölçülmüştür. Serbest yüzey aşınma değerinin 0,3 mm'yi geçtiği durumlarda talaş kaldırma işlemi durdurularak kesici takım ağzı değiştirilmiştir. Deneylerden elde edilen

ortalama serbest yüzey aşınma değerleri takım ömrünün belirlenmesinde kullanılmıştır [7].

Gu ve arkadaşları (1999), gerçekleştirdikleri çalışmada kaplanmış ve kaplanmamış karbür takımla AISI 4140 çeliğini alın frezeleme yöntemiyle işlemişlerdir. Deneylerden elde ettikleri sonuçlar ışığında takım ömrünü, ilerleme ve kesme hızının bir fonksiyonu olarak tanımlamışlardır. Ayrıca; kesici takımda meydana gelen aşınmayı, mekanik yorulma ve termal kırılmaları tanımlayarak bir aşınma diyagramı yardımıyla göstermişlerdir. Kesici takım kaplamasının takım ömrünü arttırdığını belirtmişler, deneylerden elde ettikleri kaplanmış takım ömürlerini kaplama cinsleriyle ilişkilendirmişler ve ilgili diğer çalışmalara benzer bir sonuç elde etmişlerdir [8].

Luo, Liao ve Tsai (1999), 35, 45, 50 ve 55 HRc (rockwell sertliği) değerlerinde sertliklere sahip AISI 4340 çelik malzemelerini CBN (kübik bor nitrür) ve seramik takımlar kullanarak tornalama metoduyla işleyerek, kesici takım aşınma karakteristiğini incelemiş ve takım aşınma ömür grafiklerini oluşturmuşlardır [9].

Choudhury ve Appa Rao (1999), gerçekleştirdikleri çalışmada kesici takım ömrünü iyileştirmek için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Takım ömrünün maksimum olabilmesi için talaş kaldırma parametrelerinden ilerleme hızı ve kesme hızının uygun değerlerini seçebilmek için bir model geliştirmişlerdir. Yapılan araştırmalar sonucunda takım ömründe % 30'luk bir iyileştirme elde edildiği görülmüştür [10].

Li ve arkadaşları (1999), tarafından yapılan bir çalışmada iş parçası olarak AISI 1050 çeliği ve tungsten karbür kesici takım kullanılmıştır. Bu çalışmada Kannatey' in modeli [59] kullanılmıştır. Li ve arkadaşları bu modeli geliştirerek takım-talaş ara yüzeyindeki ısı transferini de hesaba katmışlardır. Daha sonra bu model ile takım-talaş yüzeyindeki aşınmalar incelenmiştir [11].

Sarhan ve arkadaşları (2001), gerçekleştirdikleri çalışmada takım aşınma miktarındaki değişimin talaş kaldırma kuvvetlerinin büyüklükleri üzerindeki etkisini inceleyen bir yaklaşım içinde bulunmuşlardır. Bu çalışmada aynı zamanda aksenal kesme derinliğinin, kesme ağzı başına ilerlemenin, iş parçasının özgül kesme basıncının ve anlık dönme açısının bir fonksiyonu olarak kesme kuvvetini esas alan bir bilgisayar simülasyonu da yapılmıştır [12].

Dolinsek ve arkadaşları (2001), yüksek kesme hızları için kullanılan takımlarla yapılan talaş kaldırma esnasında meydana gelen aşınma mekanizmalarını ve bu aşınma mekanizmalarının ana aşınma mekanizmalarıyla (adhezyon, abrazyon ve difüzyon) olan ilişkisini incelemişlerdir. Gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda, iş parçasının homojen bir yapıya sahip olmaması ve sert parçacıklar içermesi, ayrıca oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların abrazyon aşınmasının artmasına neden olduğu, kesici takımın serbest yüzeyinde ve talaş yüzeyinde oluşan adhezyonun önemli bir aşınma meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kesici takımdaki kaplamanın yüksek sıcaklık ve darbeli yükler sonucunda dayanamayıp parçalanabildiğini ve bu nedenden dolayı çok şiddetli aşınmalar oluştuğunu göstermişlerdir [13].

Li, He, M. Wang ve Z.G. Wang (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kaplamalı karbür ve seramik kesici takımlarla Inconel 718 nikel alaşımlı demir malzeme için tornalama deneyleri gerçekleştirilmiş ve oluşan takım aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Taylor denklemini kullanarak ve ortalama serbest yüzey aşınmasını 0,4 mm, en büyük serbest yüzey aşınmasını 0,6 mm alarak, kesme hızı optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir [14].

Endres, J.W. ve Kountanya, R.K. (2002) yaptıkları çalışmada, kesici kenar yarı çapı ve burun yarı çapının kesici takım talaş yüzeyinin aşınması üzerine etkilerini araştırmışlardır. Gerçekleştirilen deneylerde iş parçası olarak AISI 1040 çeliği kullanılmıştır. Deneylerde, kesici takım burun yarı çapları (0.2, 0.8, 1.2, 1.6 mm) ve kenar yarı çapları (5, 10 μ m) olan kesici takımlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek ilerlemede burun yarı çapının artması ile aşınmanın arttığı gözlenmiştir [15].

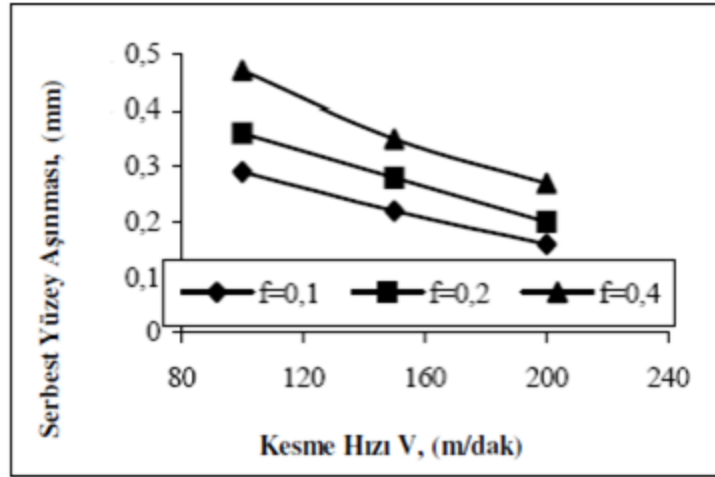
Kwon ve Fischer (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kaplamasız tungsten karbür kesici uç kullanarak AISI 4340 malzemesi işlenmiştir. CNC torna tezgâhında yapılan deneylerin talaş kaldırma parametreleri; ilerleme 0.12 mm/dev, kesme hızı 185 m/dak, kesme derinliği 2.5 mm olarak seçilmiştir. Talaş kaldırma işlemi 50mm uzunluğundaki iş parçasıyla soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. CCD kamera ile yapılan ölçümler sonucu serbest yüzey aşınmasının talaş kaldırma süresince

artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca daha önceki benzer çalışmalarda bulunan geleneksel aşınma grafiği de elde edilmiştir [16].

Çiftçi (2004), gerçekleştirdiği çalışmada AISI 304 çeliğinin kaplanmış sert metal kesici takımla işlenmesini incelemiştir. Bu çalışmada kesme hızının artması ile belirli bir değere kadar yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetinin azaldığı ancak belirli değerden sonra artış gösterdiği görülmüştür. Tarama elektron mikroskobu incelendikten sonra aşınmanın kesici takım üzerinde genellikle üç bölgede küçük kırılmalar şeklinde olduğu görülmüştür. Bu bölgeler; kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölge, kesici takımın yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölge ve burun bölgesidir. Meydana gelen aşınmaların kesici takım üzerinde oluşan yığma talaş ile ilişkili olduğu tahmin edilmiş ve kesici takım aşınmasının, 180 m/dak' ya kadar artan kesme hızıyla azaldığı görülmüştür [17].

Nouari ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada alüminyum-bakır alaşımının kaplamasız sert metal kesici takımla işlenmesinde takım aşınma karakteristiğini incelemiştir. Talaş kaldırma parametreleri olarak kesme hızlarını (30, 60, 180, 360 m/dak) ve ilerleme değerlerini (0.1, 0.3 mm/dev) seçmişlerdir. Kesici takımda difüzyon aşınması ve BUE (Built Up Edge) - yığma ağız meydana geldiği görülmüştür [18].

Özbek ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, iş parçası olarak AISI 304 östenitik çeliği sert metal kesici takımla tornalama metoduyla işlenmiş ve kesme hızının artmasıyla serbest yüzey aşınmasının azaldığı görülmüştür (Şekil 1.1). AISI 304 çeliğinin düşük ısı iletiminden dolayı malzemenin, işlem sırasında ortaya çıkan sıcaklığı hızlı iletemediği tespit edilmiştir. Bu nedenle düşük kesme hızlarında; kesici takım performansının kötü olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda serbest yüzey aşınmasının 210 m/dak kesme hızında artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu nedenle AISI 304 çelik malzemesinin sert metal kesici takımla tornalanmasında kesme hızının 200 m/dak'nın altında tutulması gerektiği belirtilmiştir [19].



Şekil 1.1 AISI 304 östenitik çeliğin tornalanmasında kesme hızı ve ilerlemeye göre serbest yüzey aşınma değerleri [19]

Çevik (2006) tarafından yapılan çalışmada, tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım incelenmiştir. Bu çalışmada, yeni kesici takımlar serbest yüzey aşınma değerleri 0,3 mm oluncaya kadar aşındırmışlardır. Aşındırma deneyleri için kesme parametreleri olarak, kesme hızı 250 m/dak, ilerleme 0,05 mm/dev ve kesme derinliği 1,6 mm seçilmiştir. Karbür kesici takım ve küresel grafitli dökme demir kullanılarak talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, hazırlanmış kesici takımların boşluk açıları artırılarak tornalama deneyleri gerçekleştirilmiş ve boşluk açısının takım ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Takım tutucu altına kamalar yerleştirilerek kesici takım boşluk açılarının (3° 5° 7° ve 9°) olması sağlanmıştır. Her bir boşluk açısında 100 saniyelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, boşluk açısının artmasıyla takım ömrünün arttığı belirtilmiştir. 3° boşluk açısında takım ömrü 100 saniye iken 9° boşluk açısında takım ömrü 240 saniye olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, aşınmış bir kesici takımın boşluk açısının değiştirilmesi ile bu kesici takımla belirli bir süre daha talaş kaldırma işlemine devam edilebileceği gösterilmiştir [20].

Singh ve Kumar (2007) tarafından yapılan çalışmada, titanyum karbür kaplamalı tungsten kesici takımlar ile AISI 4340 çeliğinin tornalanması için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen tornalama deneylerinde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği ile ilişkili olan takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü gibi bağımlı değişkenleri modelleyen cevap yüzey yöntemi ve merkezi kompozit döndürülebilir tasarım

kullanılmıştır. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün analizi için ise, doğrusal modeller geliştirilmiştir [21].

Sayit (2007) tarafından yapılan çalışmada küresel grafitli dökme demir malzemeler için sürekli olmayan talaş kaldırma şartlarında takım ömrü incelenmiştir. Bu çalışma için, 1, 2 ve 4 adet kanal bulunan silindirik numuneler hazırlanmıştır. Deneylerde sinterlenmiş kesici takım kullanılmış ve talaş kaldırma parametreleri olarak kesme hızları (240, 340 m/dak), ilerleme değerleri (0.11, 0.32 mm/dev) ve kesme derinlikleri (1, 2 mm) kullanılmıştır. Deneyler, ISO 3685 standardı referans alınarak, serbest yüzey aşınma değeri 0,3 mm'ye ulaşıncaya kadar gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında talaş oluşum şekilleri, kanal sayısı ve kesme hızının etkisi, kesme şartları ve takım aşınması, ilerlemenin etkisi ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, takım ömrü 6 dakika ve öncesinde tamamlanmıştır. Kesme hızı arttıkça takım ömründe azalmalar görülmüştür [22].

Özdemir ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, östemperlenmiş dökme demirin sert metal kesici takım ile tornalanmasında kesici takım başlangıç aşınmasını araştırmışlardır. Talaş kaldırma parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) yanı sıra yanaşma açılarının da başlangıç aşınmasına olan etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada amaç takım ömrü boyunca gerçekleşen aşınma gelişimini değil sadece başlangıç aşınmasındaki hızlı gelişimin oluşum nedenleri sorgulanmıştır. Sonuç olarak, deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak çalışılan şartlarda başlangıç aşınmasının azaltılması için çeşitli öneriler yapılmıştır [23].

Ulusoy (2008) yaptığı çalışmada, otomat çeliklerinde ve orta karbonlu çeliklerde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisini incelemiştir. Gerçekleştirilen deneylerde farklı kesme hızları ve ilerleme kullanılmıştır. Malzeme çeşidine göre kesme hızı, ilerleme hızı, yüzey pürüzlülüğü, üretim süreleri hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, ilerlemenin artmasıyla imalat sürelerinin azaldığı ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. AISI 1040 çeliği kullanımında takım ömrü azalırken, yüzey kalitesinin arttığı belirlenmiştir [24].

Şahin (2008) yaptığı araştırmada, seramik ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar arasında takım ömrünü karşılaştırmak için, sert malzemeleri işlemiştir. Sertleştirilmiş

rulman eliklerinin Taguchi metodu yardımıyla işlenmesiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Sinyal-gürültü oranı dikkate alınarak ve ANOVA analizi kullanarak takım ömrü üzerinde etkili olan talaş kaldırma parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylerden elde edilen verilere göre takım ömrü üzerindeki en etkili faktörün kesme hızı olduğunu belirlenmiştir. Takım ömrü üzerindeki ikinci etkili parametrenin kesici takımın sertliği, en son etkin parametrenin ise ilerleme olduğu bulunmuştur. CBN takım, seramik takıma göre yapılan deneylerde daha iyi performans göstermiştir. Deney doğrulaması optimum talaş kaldırma parametresini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Sinyal-gürültü oranının başlangıçtaki deney parametrelerine göre gelişmesi, optimum talaş kaldırma parametreleri ve tahmin kapasitesi, gürültü-sinyal oranına ve ANOVA sonuçlarına bağlıdır. ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme hızının takım ömrü üzerinde diğer parametrelere göre daha fazla etkin olduğu, fakat diğer parametrelerin de takım ömrü üzerinde %90 güven sınırında olmak üzere etkili olduğu görülmektedir. Takım ömrü üzerinde kesme hızının % 41.63, takım sertliğinin % 32.68 ve ilerlemenin % 25.22 oranında etkili olduğu belirlenmiştir [25].

Motorcu (2009) tarafından yapılan çalışmada, AISI 1050 ve AISI 4140 elik malzemelerinin kaplamalı ve kaplamasız seramik kesici takımlarla işlenmesinde, talaş kaldırma parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Maksimum takım ömrü elde etmek için Taguchi metodu yardımıyla optimum kontrol faktörleri belirlenmiştir. Ayrıca, aşınmış kesici takımların SEM görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir. Takım ömrü denklemleri tahminsel olarak çıkartılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, takım ömrü üzerinde etkili faktörlerin sırasıyla iş parçası sertliği, kesme hızı, kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi, kesme hızı-ş parçası sertliği etkileşimi, kesme derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi, ilerleme miktarı-ş parçası sertliği etkileşimi ve ilerleme miktarının olduğu belirlenmiştir. Faktör etkileşimlerinin yer aldığı ikinci dereceden tahminsel denklem daha güvenilir sonuçlar vermiştir. AISI 1050 ve AISI 4140 eliklerinin seramik takımlarla işlenmesinde çentik, serbest yüzey ve krater aşınması gözlenmiştir [26].

Oral ve ark. (2010)-(2012) yaptıkları çalışmada, AISI 1050 eliği tornalanarak kesici takım başlangıç aşınmasının takım ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tornalama

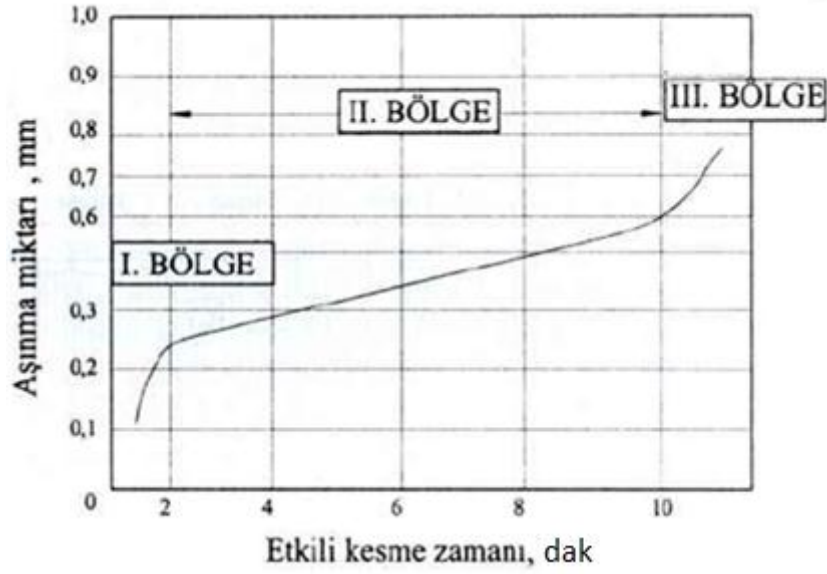
işleminde kesici takım başlangıç aşınmasını azaltmak için, talaş kaldırma işlemine düşük bir ilerleme ile başlamış ve sonrasında birkaç saniye süresince ilerlemeyi kademeli olarak arttırmışlardır. Böylece, kesici takımın iş parçasına ilk temas ettiği anda karşılaştığı aşırı kesme kuvvetleri azaltılarak başlangıç aşınmasının azaltılması sağlanmıştır. Sonuç olarak, başlangıç aşınmasındaki azalmanın takım ömrü üzerinde olumlu etkisi olduğu bulunmuştur [27], [28].

Oral ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, AISI 1050 çeliğinin tornalanmasında yeni bir işleme stratejisi-değişken ilerlemeli tornalama yöntemi kullanılmıştır. Kesici takım tornalamaya ilk başladığı anda yüksüz halden aniden aşırı kuvvetlere maruz kaldığından oluşan bu kuvvetlerin kademeli olarak artışı sağlayan yeni tornalama stratejisinde: kesici takım iş parçasına düşük ilerleme ile girmekte ve ilerleme kademeli olarak öngörülen değere çıkarılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak takım ömründe önemli artış sağlanmıştır [29].

1.2 Tezin Amacı

İmalat yöntemini etkileyen birden fazla neden vardır. Bu nedenlerden birisi de kesici takım ömrüdür. Uygulamadaki talaş kaldırma parametrelerinin optimize edilmesi ve takım geometrisinin doğru belirlenmesi ile oluşan kesici takım aşınması azaltılabilmektedir. Takım ömrünün artırılması sayesinde, üretilecek parçanın maliyetinin düşürülmesi ve parça kalitesinin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir.

Tornalama takımları için takım ömrü kriteri ISO 3685 standartlarında 0,3 mm' lik bir serbest yüzey aşınma değeri olarak tanımlanmıştır. Serbest yüzey aşınma izi yüksekliği bu değere gelene kadar kesici takım kenarı kullanılabilir. Tornalama işleminde, kesici takımın ömrünü tamamlayıncaya kadar geçirdiği süreçte üç farklı bölge meydana gelmektedir. Birinci bölgede takım kısa zamanda oldukça fazla aşınmaktadır. İkinci bölgede takım kararlı bir şekilde aşınmaya devam etmektedir. Takım ömrünü tamamlamaya yaklaştığı zaman yani üçüncü bölgede aşınma miktarı tekrar artmaktadır.



Şekil 1.2 Kesici takım aşınma bölgeleri [40]

Bu çalışmada, AISI 1040 çelik malzemesinin tornalama işleminde takım aşınmasına neden olan talaş kaldırma parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği), takım aşınma bölgeleri üzerine etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu üç bölgede talaş kaldırma parametrelerinin ne kadar etkin olduğu tespit edilmiş ve takım aşınmasının minimum olması için en uygun talaş kaldırma parametreleri belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, deney sayısını azaltan ve maliyeti düşüren Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği üç farklı kontrol faktörünü oluşturmakta ve her bir faktör üç farklı seviyeden oluşmaktadır. Kesme hızları (150, 175, 200 m/dak), ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) ve kesme derinliği değerleri de (1, 1.5, 2 mm) olarak seçilmiştir. Tornalama işlemi soğutma sıvısı kullanılmadan kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu deneylerin yapılması sonucunda ölçülen serbest yüzey takım aşınma değerleri kullanılarak S/N (sinyal/gürültü) oranları bulunmuş ve ayrıca ANOVA (Varyans Analizi) ile de sonuçlar analiz edilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Takım aşınması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle takım ömrünü tamamlayıncaya kadar geçen süre içerisinde takım aşınması bir bütün olarak ele alınarak incelenmiştir. Bilindiği gibi talaşlı şekil vermede, kesici takımın

Ömrünü tamamlayınca ya kadar geçirdiği süreçte üç farklı bölge meydana gelmektedir. Bu alışma sayesinde, aşınma bölgelerinde hangi parametrenin etkin olduğu belirlenmekte ve etkinlik değerleri karşılaştırılmaktadır. Her bölge için aşınma üzerine etkin parametrenin bilinmesiyle takım ömrünü en fazla oluşturacak çalışma koşulları belirlenmektedir. Bu sayede, literatürde eksikliği görülen aşınma bölgelerinin ayrı ayrı incelenmesi gerçekleştirilecek ve bu eksiklik giderilecek, takım aşınmasını azaltan parametreler bulunarak takım ömrünün arttırılması sağlanacaktır.

TALAŞ KALDIRMA ESASLARI

2.1 Talaş Kaldırmanın Tanımı

Talaş kaldırma işlemi, ucu keskin bir takım ile ve takım tezgâhı denilen makinelerde gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde iş parçasından kaldırılan malzemeye ise talaş denilmektedir.

Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketlerden meydana gelmektedir. Bu hareketler; kesme, ilerleme ve yardımcı hareket olmak üzere üç çeşittir. Kesme hareketi esas talaş kaldırma işlemi gerçekleştirir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca işlenmesini sağlayan hareket olarak tanımlanmaktadır. Yardımcı hareket ise takımın parçaya göre ayarlanması, ilerleme hareketi bittikten sonra takımın başlangıç noktasına geri dönmesi gibi hareketleri kapsamaktadır. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal harekettir. Bu hareketlerin takım veya parça tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirmektedir [30].

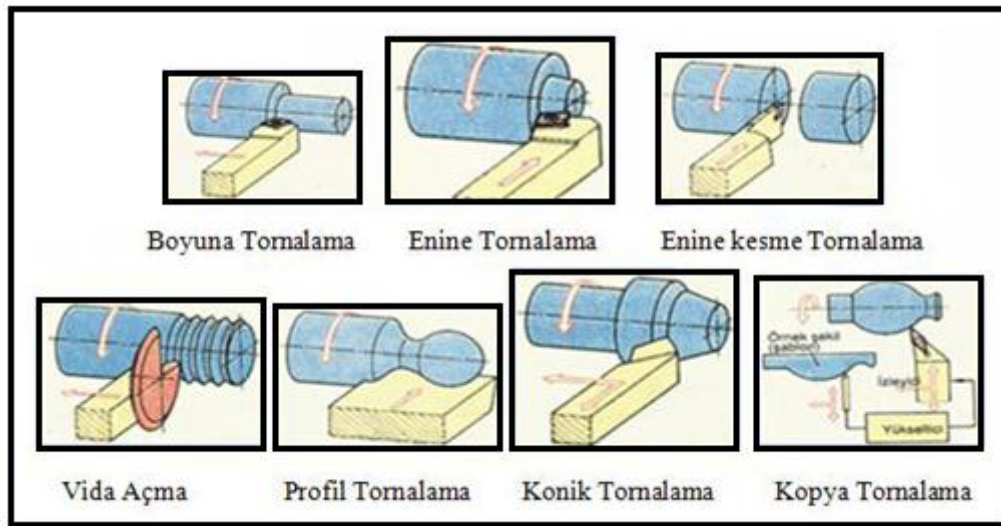
2.2 Talaş Kaldırma Metotları

2.2.1 Tornalama

Tornalama işlemi, talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı şekil verme yöntemlerinden biridir. Etkin bir talaşlı şekil verme yöntemi olan tornalama işlemi, dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılmaktadır. İşlenecek olan

iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülmektedir. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası eksenine paralel veya açılı ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profil yüzeyler oluşturulmaktadır.

Tornalama işleminde kesme hareketi, parçanın dönme hareketi ile sağlanır. Takım ise ilerleme ve yardımcı hareketleri gerçekleştirmektedir. Tornalama dış ve iç olmak üzere iki gruba ayrılır. Bunun yanı sıra ilerleme hareketi esas alınırsa boyuna ve enine tornalama yöntemleri de mevcuttur [30]. Tornalama çeşitleri Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

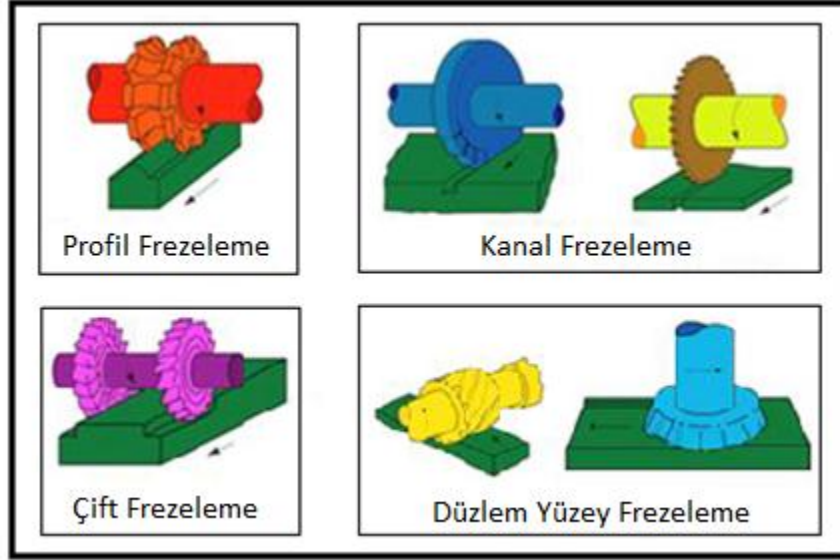


Şekil 2.1 Tornalama çeşitleri [31]

2.2.2 Frezeleme

Frezeleme işleminde, takım dönme şeklinde kesme hareketini ve parça ilerleme hareketini gerçekleştirir. Yardımcı hareketler ise takım veya parça tarafından yapılabilir. Takım kesme işlemini çevresinde bulunan dişlerle yaptığı durumda işleme çevresel, alın yüzeyinde bulunan dişlerle yaptığı durumda alın ve hem çevresel hem de alın dişleri ile yaptığı durumda çevresel-alın frezeleme denilir. Bu son yöntemde parmak freze denilen ve günümüzde özellikle CNC tezgâhlarda çok kullanılan bir takım kullanılır. Talaş kaldırma yöntemlerinden frezeleme yöntemi, talaşlı imalat sektöründe oldukça büyük bir öneme sahiptir. Frezeleme işleminde karmaşık geometrilerdeki iş parçalarının işlenebilmesi, kullanılan freze tezgâhının eksenlerindeki hareket edebilme

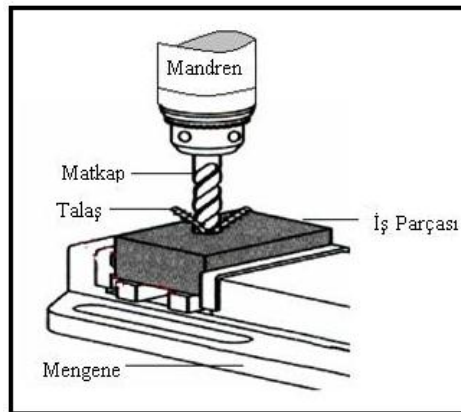
kabiliyetine bağlıdır. Frezeleme yönteminde, çok eksenli takım tezgâhlarının kullanımıyla, karmaşık geometrilerdeki iş parçaları kolaylıkla işlenebilmektedir [30], [31]. Frezeleme çeşitleri Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Frezeleme çeşitleri [31]

2.2.3 Delme

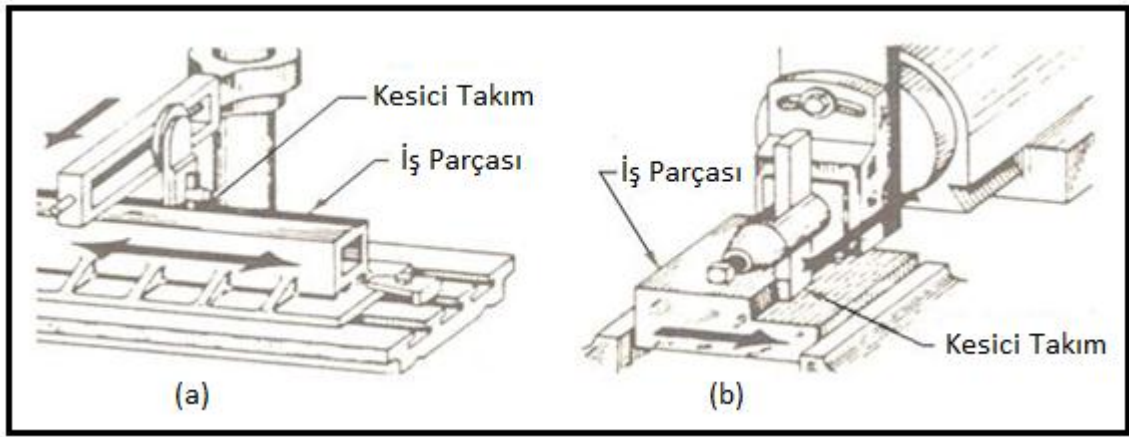
Delme işleminde, matkap adını taşıyan takım hem dönme şeklinde kesme, hem de ilerleme hareketini gerçekleştirmektedir. Parça işlem sırasında hareket etmemektedir. Bu amaçla takım, tezgâhın iş miline tutturulur ve parça tezgâhın tablasına bağlanarak işlem gerçekleştirilir [30]. Matkap ile delik delme işlemi Şekil 2.3’te gösterilmektedir. Delme işlemi; delik genişletme, vida açma, raybalama ve broslama gibi talaş kaldırma veya şekillendirme yöntemlerinden önce gerçekleştirilen bir ön işlemdir [31].



Şekil 2.3 Matkap ile delme işlemi [31]

2.2.4 Planyalama ve Vargelleme

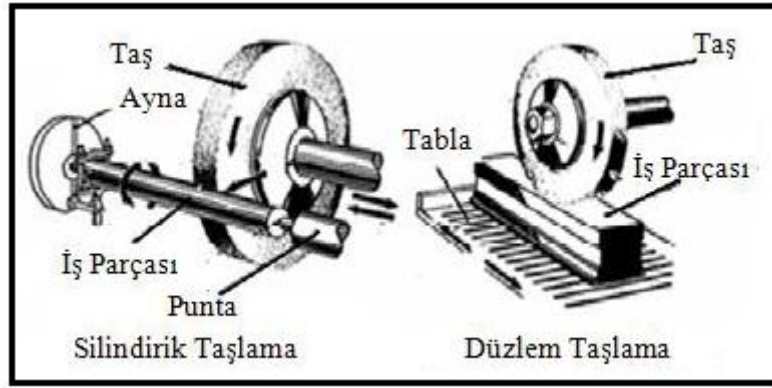
Planya ve vargellemenin ortak özelliği kesme hareketinin doğrusal olmasıdır. Gerçekleştirilen işlemde tek ağızlı bir takım kullanılmaktadır. Ancak planyalamada doğrusal hareketi takım, vargellemede ise tezgâh tablasına bağlı olan parça yapmaktadır. Her iki sistemde de kesme hareketi, talaş kaldırılacak yüzey boyunca ileri ve geri olmak üzere çift stroktan oluşmaktadır. Burada yalnızca ileri harekette talaş kaldırılır. Geri harekette talaş kaldırılmaz, takım parçaya değmeden yalnızca geri döner. Geri döndükten sonra, yana doğru yani kesme yönünde dik ilerleme hareketi yapılır ve tekrar çift stroktan oluşan bir kesme hareketi başlar [30]. Planyalama ve vargelleme Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 (a) Planyalama ve (b) vargelleme işlemleri [58]

2.2.5 Taşlama

Taşlama aşındırıcı bir malzemeden yapılan ve taş adı verilen takımla talaş kaldırma işlemidir. Taşlama; tornalama, frezeleme, delik delme, planyalama, vargellemeden sonra, imalat ve yüzey kalitesini iyileştirmek için uygulanan nihai bir işlemdir. Bazı durumlarda bu yöntem tek başına şekil verme işlemi olarak da kullanılabilir. Taşlama, uygulanan yöneme göre düzlemsel ve silindirik taşlama olmak üzere iki gruba ayrılır [30]. Taşlama çeşitleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Taşlama çeşitleri [31]

2.3 Talaş Oluşumu

Talaş oluşumu, birincil deformasyon bölgesi içinde oluşan belirli bir kayma bölgesinde meydana gelmektedir. Kayma bölgesine kadar malzemede elastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Kesici takım ucunun iş parçası ile temas ettiği bölgede önce elastik sonra plastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Bu bölgede meydana gelen gerilmelerin malzemenin kopma sınırını aşması sonucunda bölgeden talaş adı verilen parçacıklar ayrılır [32].

Talaşın formu ve düzgün olarak kırılması;

- Malzemenin işleme kabiliyetine,
- Kesme hızı ve ilerleme değerlerine,
- Talaş yüzeyinin düzgünlüğüne,
- Kesici uç özelliğine,
- Talaş kırıcısı v.b. faktörlere bağlıdır.

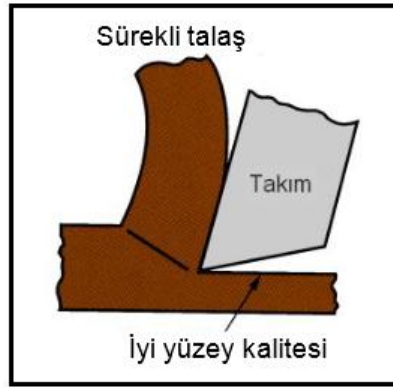
2.4 Talaş Tipleri

Talaşlı şekil verme işlemlerinde meydana gelen talaş tipleri, iş parçası malzemesine, talaş kaldırma parametrelerine ve işleme şekline göre değişiklik göstermektedir. Oluşan talaş şekli, kesici takım ömrünü ve iş parçasının yüzey kalitesini oldukça etkilemektedir. İşlem sırasında sürekli ve uzun olarak oluşan talaşların takıma, tezgâha veya iş parçasına dolaşmasıyla kesici takımın zarar görmesine, işlenen malzemenin yüzey

kalitesinin bozulmasına ve oluşan talaşların temizlenmesi için işlemin durdurulmasına neden olmaktadır [31].

2.4.1 Sürekli Talaş

Sürekli talaş, sünek malzemelerin işlenmesinde yüksek kesme hızları ve talaş açılı nedeniyle oluşmaktadır. Sürekli talaş, iş parçasının sürekli deformasyonu ve makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelmektedir. Yüksek deformasyondan dolayı sertleşen talaş, kesici takımın aşınmasına neden olarak takım ömrünü azaltmaktadır. Sürekli talaşlar; bant, spiral ve helisel şekillerde oluşmaktadır. Genelde işlem sonunda kaliteli bir yüzey bırakmasına rağmen, sürekli talaş oluşması her zaman istenilmez. Meydana gelen sürekli talaş Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Sürekli talaş [61]

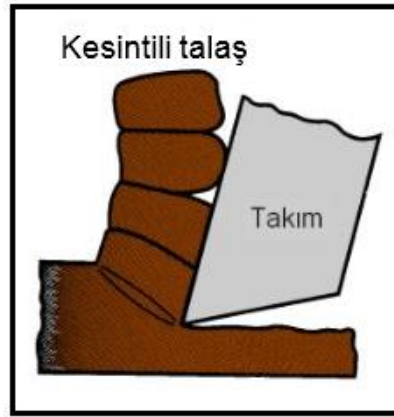
Günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC takım tezgâhlarında talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan sürekli talaş, takım tutucusuna, iş parçasına veya tezgâha dolanarak sistemin düzgün çalışmasını engellemektedir. Oluşan bu talaşların temizlenmesi için işlemin durdurulması imalat zamanının ve dolayısıyla maliyetin artmasına, iş parçasının yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu problem, uygun talaş kaldırma parametrelerinin seçilmesi, talaş kırıcı ve soğutma sıvısı kullanılarak azaltılabilir [31], [34].

2.4.2 Süreksiz (Kesintili) Talaş

Talaş oluşumu sırasında işlenen malzemede plastik deformasyon meydana gelir ve eğer malzeme gevrek bir yapıya sahipse kısmen şekillenen talaşla birlikte birincil

deformasyon bölgesinde kırılmalar meydana gelir. Bu şartlar altında oluşan talaşa kesintili talaş denilmektedir [34].

Talaş oluşumundaki süreksiz yapıdan dolayı talaşlı imalat sırasında meydana gelen kuvvetler sürekli değişiklik göstermektedir. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen talaşların süreksiz talaş olması durumunda takım tutucusunun, bağlama elemanlarının ve takım tezgâhının rijitliği ön plana çıkmaktadır. Bunlar, yeterince rijit olmadıkları takdirde, takım tezgâhı titreşime maruz kalır. Talaş kaldırma esnasında oluşan titreşim iş parçası yüzeyinin kalitesinin bozulmasına, işlenen parça boyutlarının istenilen tolerans aralığı dışına çıkmasına ve kesici takım aşınmasının hızlanmasına neden olmaktadır [31]. Kesintili talaş örneği Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Kesintili talaş [61]

Süreksiz talaşlar çoğunlukla aşağıdaki şartlarda oluşur;

- Gevrek iş parçası malzemeleri işlenirken,
- Çok düşük veya çok yüksek kesme hızlarında,
- Fazla kesme derinliği,
- Küçük talaş açısı,
- Etkin bir soğutma sıvısının olmaması,
- Takım tezgâhının rijitliğinin yetersiz olması.

2.4.3 Yığma Talaş

Yığma talaş (YT veya BUE-Built Up Edge), talaş kaldırma esnasında işlenen malzemesinin kesici takım üzerinde birikmesi ile meydana gelmektedir. Oluşan YT kesici takım malzemesiyle birlikte kopup uzaklaşabilir. YT, kesici kenar geometrisini değiştirerek kesme işleminin zorlaşmasına neden olmaktadır. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği YT oluşumunda önemli rol oynamaktadır [35]. Yığma talaş Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Yığma talaş (YT) [61]

Çıkan talaştan daha sert olan YT, kararlı ya da kararsız olabilmektedir. Kararlı YT, kesici takım ucunda kayma gerilmesinin ve etkin talaş açısının artmasına neden olur. Aynı zamanda kesici uç ile talaş arasındaki temas alanını azaltarak kesme kuvvetini artırır. YT, işlenen malzemenin yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kararsız YT’nin bir kısmı, çıkan talaş tarafından uzaklaştırılırken bir kısmı da talaş kaldırma işlemi esnasında talaştan ayrılıp, işlenmiş yüzeye yapışarak yüzey pürüzlülüğünü kötü yönde etkilemektedir. Ayrıca çok sert olan YT, kesici takım aşınmasına neden olmaktadır [34].

YT’nin sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. YT genellikle istenmemesine rağmen kararlı ve ince bir YT takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için faydalı kabul edilebilir. Kesme hızının artmasıyla YT küçülerek oluşumu engellenebilir. YT oluşma eğilimi aşağıdakilerle azaltılabilir;

- Kesme derinliğini azaltarak,
- Talaş açısı artırılarak,

- Keskin bir takım kullanarak,
- Etkin bir soğutma sıvısı kullanarak.

Genelde iş parçası ve kesici takım malzemesinin kimyasal eğilimi yüksek olursa YT oluşum eğilimi de artar [35].

2.5 Talaş Kaldırma Faktörleri

Talaşlı imalat işlemlerinde, kesici takım yardımıyla iş parçasının istenen ölçülere getirilmesine çalışılır. Malzeme üzerinde önce elastik, sonra plastik gerilmeler oluşarak akma başlar. İşleme devam edildiğinde ise, iş parçası üzerinden fazla olan kısım talaş olarak uzaklaştırılır. Kesme işlemi için gerekli olan kuvvetle, takımda oluşan aşınma ve oluşan talaş şekli çeşitli faktörlerden etkilenir. Talaş kaldırma işlemini etkileyen bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir [36].

- Kesme hızı,
- İlerleme,
- Kesme derinliği,
- Takım geometrisi (açılar ve burun yarıçapı),
- Malzeme çifti (iş parçası ve takım malzemesi),
- Soğutma sıvısı,
- Titreşim,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü.

Talaş kaldırma parametreleri, istenilen performansı elde edecek şekilde seçilmelidir. İstenilen yüzey kalitesi, maksimum takım ömrü, boyutsal doğruluk ve kolay talaş kaldırmanın yanında minimum maliyet göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5.1 Kesme Hızı

Tüm imalat yöntemlerinde olduğu gibi talaşlı imalat yöntemlerinde de en önemli noktalardan biri yapılan işin maliyetini düşürmektir. Bu, işin yapım zamanını kısaltma ve işi optimum koşullarda yapmakla mümkün olmaktadır. Bir işin yapım zamanı

kısaltılırken aynı şekilde istenen teknik özellikler ve ekonomik kurallarda göz önünde bulundurulmalıdır.

Kesme hızı, kesici takımın ya da iş parçasının dönme hızı ile ilgili hareketi olup iş parçası ile kesici takım arasında dakikada metre cinsinden alınan yol olarak tanımlanır. Kesme hızı, V ile gösterilir ve birimi m/dak'dır. Kesme hızı aşağıdaki formülle ifade edilir. Bu formülde iş parçasının çapı D , devir sayısı N ile gösterilmektedir. İş parçası çapının birimi mm, devir sayısının birimi ise devir/dakika'dır [37].

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \quad (2.1)$$

Kesme hızı, kesme zamanını ve dolayısıyla imalat maliyetini belirler. İmalatçılar kesme işleminin mümkün olduğunca çabuk yapılmasını isterler. Kesme hızı çok yüksek seçildiğinde kesme kuvvetleri azalır, ancak sıcaklığın artmasından dolayı kesici takım ucu hızla aşınarak bozulur. Kesme hızı çok düşük seçilir ise, kesme kuvvetleri artar ve oluşan sıcaklık azalır. Kesme işlemi için daha çok zaman harcanır. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasında difüzyon için gerekli zaman oluşursa kesici takım ucunda YT meydana gelebilir. Bunun sonucunda parça üretim miktarı düşer ve birim maliyet artar [38].

2.5.2 İlerleme

İlerleme, iş parçasının her bir devrinde takımın iş eksenini boyunca hareket ettiği mesafe olup f sembolü ile gösterilir ve birimi mm/devir'dir. İlerleme işlenen yüzey kalitesini belirlemede önemli bir faktördür. Kesici takım, aksel tornalamada iş parçası dönme eksenine paralel ilerleme hareketi yapar, alın tornalamada ise dik ilerleme hareketi yapar. İlerleme; kesme hızı, parça malzemesi, takım malzemesi, kesme derinliği, tezgâhın gücü gibi faktörlerden etkilenir. İlerleme arttırıldığında ilerleme kuvveti, buna bağlı olarak da kesme kuvvetleri artar. Bununla birlikte birim maliyeti azalır [39].

2.5.3 Kesme Derinliği

Kesme derinliği, talaş kaldırma işleminde üçüncü eksen olup takımın iş parçasının merkezine doğru dikey olarak aldığı mesafedir. Tornalama ile talaş kaldırma işleminde

iş parçası malzemesinin ilk çapı ile son çapı arasındaki farkın yarısına eşittir. Başka bir ifadeyle kaldırılan malzemenin kalınlığı olarak da tarif edilebilir. Genellikle a sembolü ile gösterilir ve birimi mm'dir. Kesme derinliği arttıkça birim maliyetler azalır [37].

Maksimum üretim miktarı; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin optimize edilmesi ve takım değiştirme zamanının minimuma indirilmesi ile sağlanır. Ancak işlem parametrelerindeki değişiklikler, kesici takım ömrüne farklı oranlarda etki eder [36].

BÖLÜM 3

TAKIM AŞINMASI

3.1 Giriş

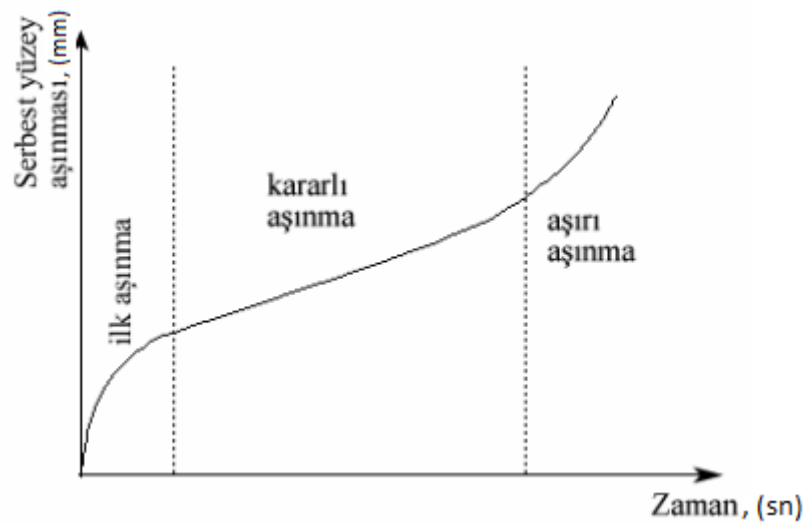
Talaş kaldırma işlemlerinde, takım malzemelerinin gelişmesi büyük oranda pratik uygulamalar ile sağlanmıştır. İnsan ihtiyaçlarının giderek artması teknolojik olarak değişmeyi gerektirmekte ve ekonomik rekabeti doğurmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için de yeni takım malzemeleri araştırılmakta, bunu yaparken de sadece takımların iyileştirilmesi değil, iyi ve kaliteli üretim, yüzey kalitesi, minimum güç sarfiyatı ve ekonomiklik sağlanması gerekmektedir. Ancak bunları gerçekleştirmede kesici takımında oluşan aşınma tipleri ve kriterlerinin, talaş kaldırma esnasında oluşan problemlerin çok iyi bir şekilde bilinmesi, anlaşılması ve buna göre gerekli tedbirlerin alınması gereklidir. Talaş kaldırma işleminde iş parçası, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünmeler ve meydana gelen ısı, takımın aşınması ve plastik deformasyonuna sebep olur. Plastik deformasyon ve sürtünme sonucu ortaya çıkan enerjinin çoğu ısıya dönüşürken bir kısmı talaşla taşınmasına rağmen, takım ucunda kalan kısmında talaş kaldırma şartlarına, iş parçası ve takım çiftine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar oluşturur. Takım ucunda oluşan bu yüksek sıcaklıklar ve mekanik gerilmelerden dolayı kesici takım aşamalı olarak veya ani olarak malzeme kaybına maruz kalır.

Takım ömrü, pratik çalışmalarda istenilen boyutta ve yüzey kalitesinde iş parçalarını üretmek için takımın körlenme zamanı yani takımın daha fazla kesme yeteneğini sürdürmemesi, başka bir ifadeyle iki bileme arasında geçen zaman “Takım Ömrü” olarak adlandırılabilir. Her bir takım için takım ömrü, talaş kaldırma şartlarına bağlı

olarak farklılık gösterebilmektedir. Talaş kaldırma işleminde düşünülmesi gereken en önemli faktörlerden birisi olan takım ömrü, kaba işlemlerde ekonomik bir takım ömrü, değişik kesme hızları, ilerlemeler ve takım aracılığı ile genellikle sağlanabilmektedir. Fakat takımın körlenmesi sonucu bilenmesi veya değiştirilmesi maliyetleri yüksek olduğundan, çok kısa takım ömrüne sahip olan takımlar ekonomik olmayacaktır. Başka bir ifadeyle uzun takım ömrü elde etmek için düşük hız ve ilerlemenin kullanılması, üretim hacmini düşüreceğinden ekonomik olmayacaktır.

Herhangi bir takım veya iş parçası ile çalışırken takım ömrünün artışı, her zaman yararlı olacak ve böyle gelişmelere esas olmak üzere, tabi takım aşınmasının ve diğer kırılma şekillerinin iyice anlaşılmasını gerektirecektir. Uluslararası standartlara göre aşınma ile takımın bozulması, takım ömrünün belirlenmesinde, belirli kriterler kullanılmaktadır [40].

Takım aşınma grafiği doğrusal bir karakteristiğe sahip değildir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre takım aşınmasının zamana göre değişiminde üç farklı bölge meydana gelmektedir. Bunlar, ilk hızlı aşınma bölgesi, ikinci yavaş ve doğrusal bir şekilde artan aşınma bölgesi ve son olarak aşınmanın oldukça hızlı gerçekleştiği üçüncü bölgedir. Buna göre takım aşınması talaş kaldırma işleminin başladığı ilk zamanlarda hızlı bir şekilde artmakta, daha sonra kararlı bir şekilde devam etmekte ve takım ömrünü tamamlamaya yaklaştığı zaman tekrar artmaktadır. Kesici takım aşınmasının zamana göre değişimi Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Takım aşınmasının zamana göre değişimi [41]

3.2 Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler

Takım aşınması, kesici takımdan koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey kalitesi üzerinde doğrudan bir kötü etkiye sahiptir. Parçanın kopmasıyla takım körlenmiş ve kesici takımın serbest açısı 0° 'a yaklaşacağından, daha çok uç alan bölgesi sürtünme işlemi yapacak ve kesme işlemi esnasında bu daha da büyüyecektir. Bu durumda kesici takım kesme işleminden ziyade iş parçasını zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine yol açmakta, dolayısıyla takım körlenmektedir. Bunun, belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını tayin etmek için belirlenmesi gerekir. Bu nedenle takım aşınmasının kritik değerlerinin neler olduğunun ve nelere bağımlı olduğunun anlaşılması gerekir. Bunlardan önemli olanlar;

- Takım malzemesi,
- İş parçası malzemesi,
- Kesme hızı,
- İlerleme,
- Kesme derinliği,
- Talaş geometrisi,
- Takım geometrisi,
- Soğutma sıvısı,

olarak belirtilebilir [40].

3.3 Aşınma Mekanizmaları

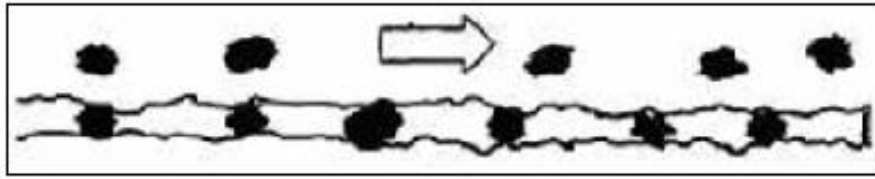
Bir talaşlı şekillendirme işleminde meydana gelen aşınmanın türü; kesici takım malzemesine, iş parçası malzemesine ve talaş kaldırma koşullarına bağlıdır [50]. Genellikle, kesici takımlarda yaygın olarak oluşan aşınma mekanizmaları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [40];

- Abrazyon,
- Difüzyon,

- Oksidasyon,
- Yorulma,
- Adhezyon.

3.3.1 Abrasyon Aşınma (Mekanik Aşınma) Mekanizması

Abrasyon aşınması iş parçası malzemesinde bulunan sert parçacıklar nedeniyle gerçekleşmektedir. Bu parçacıklar, talaş kaldırma işlemi sırasında iş parçası yüzeyi ile kesici takım arasına girdiğinde taşlama işlemindeki gibi bir durum ortaya çıkmaktadır. Kesici takımın bu aşınmaya karşı gösterdiği direnç önemli derecede kesici takımın sertliğine bağlıdır. Kesici takım malzemesi oluşturulurken kullanılan sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırıldığından kesici takım bu aşınmaya karşı direnç gösterebilir ancak talaş kaldırma sırasında meydana gelen diğer kesme kuvvetleri nedeniyle kesici takımda aşınmalar meydana gelebilir [51], [52]. Şekil 3.2’de abrasyon aşınma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Abrasyon aşınması mekanizması [39]

Abrasyon aşınmasına karşı takımın dayanımı, takımın sertliğine bağlıdır. Takım ne kadar sert olursa abrasyon aşınmasına karşı dayanımı da o kadar yüksek olur.

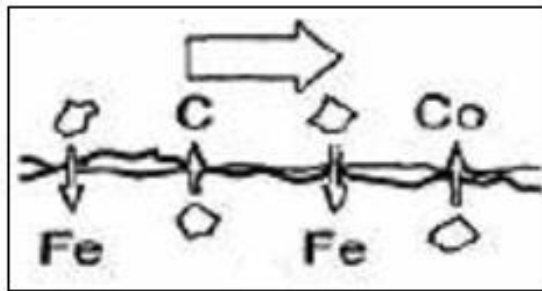
Talaş kaldırma işleminde kesme sıvısı kullanılıyorsa ve bu kesme sıvısı tam olarak parçacıklardan arındırılırsa abrasyon aşınması en aza indirilebilir. Ayrıca kaplama da bu aşınma cinsini azaltabilmektedir. Bu aşınma mekanizması aşağıdaki parametrelere bağlıdır;

- Sert taneciklerin türü (aşınma meydana gelebilmesi için parçacıkların sertliği temas ettikleri yüzeylerin sertliğinden daha fazla olmalıdır),
- Sert taneciklerin büyüklükleri (aşınma meydana gelebilmesi için parçacıkların boyutlarının kullanılan kesme sıvısı yağ filmi kalınlığından büyük olması gerekir),

- Aşındırıcı partikül miktarı,
- Birlikte çalışan yüzeylerin malzemeleri,
- Hız, yük, yağlayıcı, sıcaklık gibi çalışma parametrelerine bağlıdır [39].

3.3.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması

Bu aşınma mekanizması; atomların, yüksek atomik konsantrasyonlu bölgeden düşük atomik konsantrasyonlu bölgeye geçmelerinden meydana gelir. Takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki kimyasal ilgiye bağlıdır. Talaş yüzeyinde, krater şeklinde bir aşınma çeşidine neden olan bu aşınma, sıcaklıkla önemli düzeyde ilişkilidir. Yayınma hızı sıcaklıktaki artışla üstel olarak artar [23]. Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar etkinlik göstermektedir. Takım malzemesinin sertliği bu aşınma mekanizmasında pek etkili değildir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirlemektedir. Bazı takım malzemelerinin iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimi varken, bazılarının ise iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı birleşme eğilimi görülmemektedir. Malzemeler arasındaki kimyasal ilişki oluşan difüzyon aşınma mekanizmasının büyüklüğünü belirlemektedir [52], [53]. Şekil 3.3'te difüzyon aşınma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Difüzyon aşınması mekanizması [39]

Bu aşınma, takım çeliği ve hız çeliği takımlarında çok fazla görülmemektedir. Bu malzemeler difüzyonun etkin olarak görüldüğü sıcaklıklara erişmeden (1000°C'nin üzeri) sertliklerini kaybederek yumuşarlar. Difüzyon sırasında aşağıdaki reaksiyonlar oluşur;

- Fe atomlarının bağlayıcı faz olan Co içine doğru yayınması,
- Co' ın çelik içinde yayınması sonucu, Fe ve Co' ın birleşerek tam bir kristal oluşturması,
- Wolfram karbürün, karışık karbürler ve çift karbürler oluşturarak Fe_3W_3C ; $(FeW)_6C$ ve $(FeW)_{23}C_6$ şeklinde çözülmesi [39].

3.3.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması

Havanın etkisi ile yüksek kesme sıcaklıklarında meydana gelen ve yüzeylerde bir oksit tabakasının oluşması ile sonuçlanan bir aşınma mekanizması çeşididir. Kesme işleminden sonra kesici takım incelendiğinde, temas yüzeylerinin yakınlarında renklenmelerin olduğu görülür. Bu renklenmeler kesici takım malzemesinin oksidasyona uğradığının göstergesidir. Oluşan oksit tabakası kesme ağzında küçük çentikler meydana getirir. Çeşitli takım malzemeleri, çeşitli oksit tabakaları oluşturur. Örneğin tungsten ve kobalt sürtünme ile kolay uzaklaştırılan gözenekli bir oksit tabakası oluşturur. Alüminyum oksidi çok kuvvetli ve serttir. Buna bağlı olarak bazı takım malzemeleri oksidasyon aşınmasına daha elverişli, bazıları ise değildir [55]. Şekil 3.4'te oksidasyon aşınma mekanizması gösterilmektedir.

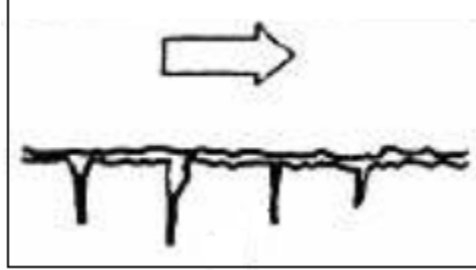


Şekil 3.4 Oksidasyon aşınması mekanizması [39]

3.3.4 Yorulma Aşınma Mekanizması

Yorulma aşınması, talaş kaldırma sırasındaki termik ve mekanik olayların bir arada meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Süreksiz talaş kaldırma esnasında sıcaklıktaki değişimler, yüzeylerdeki kuvvetlerin değişmesi sonucu kesme ağzında çatlaklar ve kırılmalar meydana gelir. Ayrıca kuvvetlerin etkisi altında, ağızlarda parça şeklinde kırılmalara neden olan saf mekanik yorulmalar meydana gelebilir. Tüm malzemelerin yorulma mekanizmasına olan duyarlılıkları aynı değildir. Meydana gelen bu aşınma

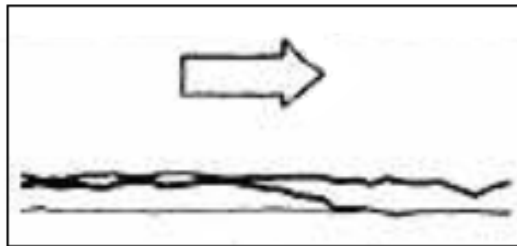
mekanizması sert ve/veya işlenmesi zor malzemelerin yüksek ilerleme değerlerinde işlenmesinden kaynaklanmaktadır [39], [54], [55]. Şekil 3.5'te yorulma aşınma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Yorulma aşınması mekanizması [39]

3.3.5 Adhezyon Aşınma Mekanizması

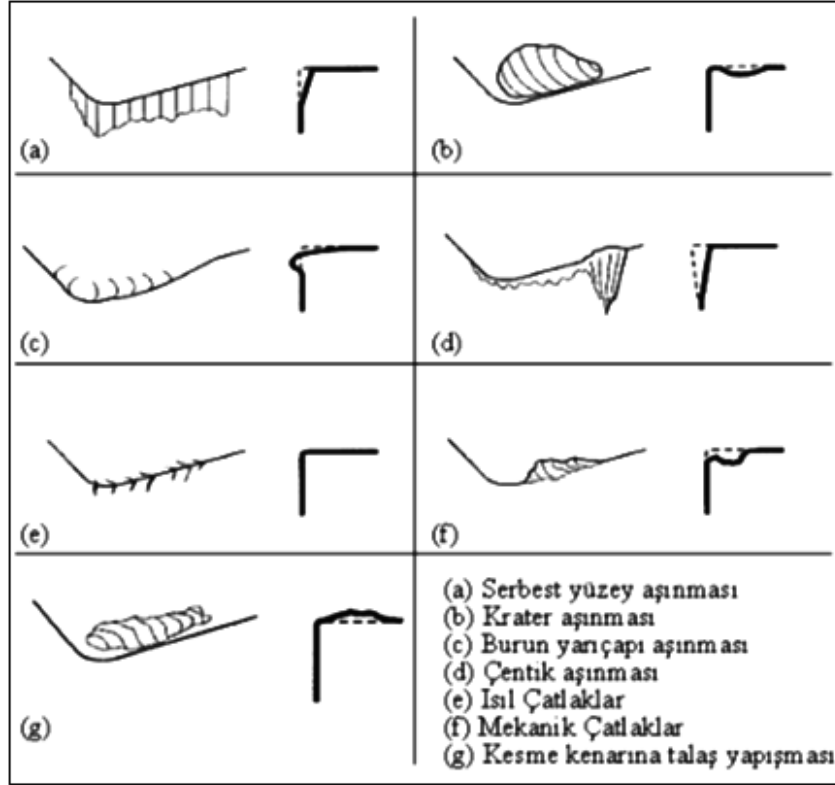
Talaş kaldırma işlemi sırasında temas halinde bulunan yüzeyler arasında atomik bağların oluşması ve bunların kopması ile birlikte yüzeylerden malzeme kaldırılması şeklinde gerçekleşir. Talaş kaldırma sürecinde talaş ve iş parçası yüzeyi kesici takımla sürekli temas halindedir. Bu nedenle temas yüzeyleri büyük basınçlar altında zorlandığı için burada yüzeyler arasında atomik bağlar oluşmakta ve bunların kopması sonucunda takımda adhezyon aşınması meydana gelmektedir. Bu aşınma genelde talaş yüzeyi üzerinde ve özellikle çelik, alüminyum ve dökme demir gibi sürekli veya kesikli talaş tipi veren malzemelerin işlenmesinde meydana gelir. Bu mekanizma, genellikle kesici takım ile talaş arasında YT oluşmasına neden olmaktadır [39]. Şekil 3.6'da yorulma aşınma mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Adhezyon aşınması mekanizması [39]

3.4 Aşınma Tipleri

Talaş kaldırma işleminde oluşan sürtünme sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında meydana gelmektedir. Şekil 3.7’de kesici takım aşınma tipleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Kesici takım aşınma tipleri [41]

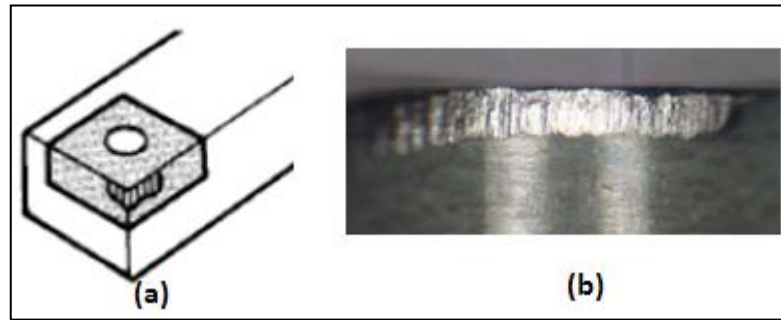
Takım aşınması, çeşitli aşınma şekillerini kapsayan karmaşık bir olaydır. Belli başlı aşınma tipleri;

- Serbest yüzey aşınması,
- Krater aşınması,
- Çentik aşınması,
- Burun yarı çapı aşınması,
- Isıl ve mekanik çatlaklar,
- Yığma ağız oluşumu,
- Plastik deformasyon olarak söylenebilir [39].

3.4.1 Serbest Yüzey Aşınması

Kesici takımın serbest yüzey aşınması, takımın serbest yüzeyi ile iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelmektedir. İş parçasının rijitliği nedeniyle aşınma alanı, serbest yüzey alanı olarak adlandırılır ve kesme doğrultusuna paraleldir. Aşınma bölgesinin alanı aşınma miktarının bir ölçümü olarak alınır ve optik mikroskop ile belirlenir. Böylece aşınma alanının genişliği için sınır değerleri farklı kesici takımlar için belirlenebilir. Bu kriter belli bir değere ulaştıktan sonra kesici takım değiştirilmez veya takım bilenmez ise takım aşırı bozulabilir. İş parçasına karşı titreşim meydana getirerek aşırı sürtünmeye ve kötü yüzey kalitesine neden olur, bu durumda yüksek ısı ortaya çıkacak ve takım deformasyona uğrayarak serbest yüzey aşınması artacaktır [40], [57].

Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir ve böylelikle oluşan yüksek serbest yüzey kuvvetleri nedeniyle boyutsal doğrulukta azalma ve sapmalar meydana gelir. Serbest yüzey aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu ile oluşur. Serbest yüzey aşınmasının büyüklüğü, ortalama serbest yüzey aşınması veya takımın ucuna olan maksimum mesafesi ile ifade edilir. Serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle üniform genişlikte ve kenara yakın bölgede oluşur. Serbest yüzey aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün olmayıp, azaltılabilmesi için tedbir alınması mümkündür [39]. Şekil 3.8’de kesici takım serbest yüzey aşınması örneği gösterilmektedir.

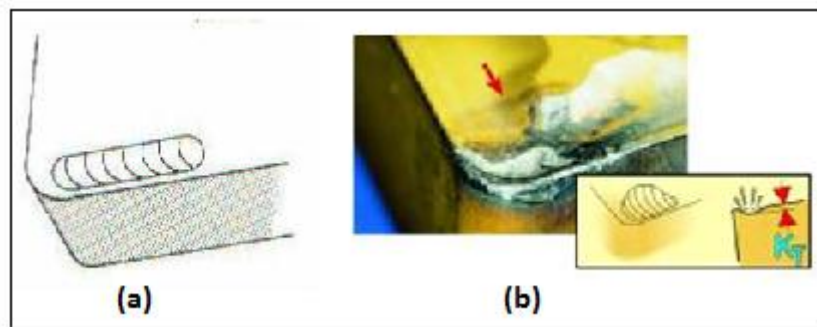


Şekil 3.8 Kesici takım serbest yüzey aşınması [42], [62]

3.4.2 Krater Aşınması

Talaşlı imalatla, kesici takım yüzeyi oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Yüksek kesme hızlarında bu sıcaklık değerleri 1000°C ve üzerine kolaylıkla erişebilmektedir. Bu

yüksek sıcaklık şartları altında kesici takım malzemesi termal yumuşamaya maruz kaldığından kesici takım oldukça hızlı aşınabilmektedir. Karbür kesici takım malzemeleri, bu yüksek sıcaklık değerlerinde sertliklerini muhafaza etmelerine rağmen katı hal difüzyonu kesici takımın çabuk aşınmasına neden olmaktadır. Kesici takım sıcaklığının yüksek olduğu talaş yüzeyinde krater aşınması meydana gelmektedir. Bu aşınma, kesici takım talaş yüzeyi ile takım üzerinden akan yüksek sıcaklıktaki talaşın arasında oluşan kimyasal etkileşme sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim sonucu kesici takım malzemesi ile talaş arasında difüzyon gerçekleşebilmektedir. Deneysel çalışmalarda, maksimum krater derinliği, krater aşınma miktarının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Yüksek kesme hızları altında krater aşınması kesici kenarın zayıflamasına ve hatta takımın kırılmasına neden olabileceği için krater aşınması kesici takım ömrünü belirleyen faktörlerden biridir. Buradan da anlaşılacağı gibi takım ömrünü kısalttığı ve takımın yeniden bilenmesini zorlaştırdığı için aşırı krater aşınmasından kaçınılmalıdır ancak ılımlı bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Aşırı krater aşınması, difüzyon veya kimyasal aşınma mekanizmalarıyla meydana gelir. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının arttırılması, takımın talaş içinde çözünürlüğünün azaltılması ve kaplamalı takım kullanılarak minimize edilebilir. Krater aşınması genellikle dökme demirler gibi sert ve kırılgan malzemelerin işlenmesinde görülmektedir [39], [40], [57]. Şekil 3.9'da kesici takım krater aşınması örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Kesici takım krater aşınması [42], [63]

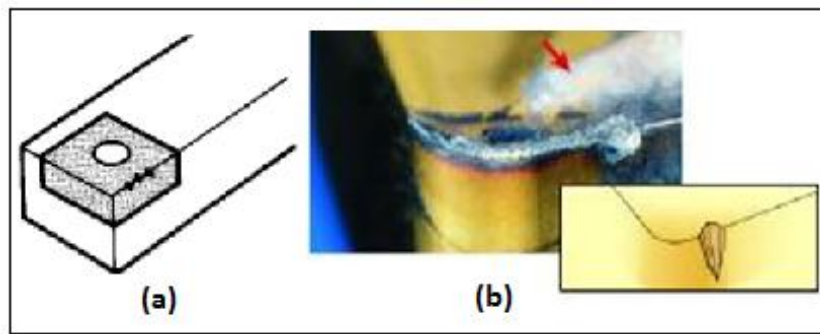
3.4.3 Çentik Aşınması

Çentik aşınması kesme derinliği seviyesinde hem serbest yüzeyi hem de talaş yüzeyinde yüksek derecede lokalize olmuş aşınmadan meydana gelmektedir. Çentik aşınması

genellikle paslanmaz çelikler veya yüksek sıcaklık alaşımları gibi işlenirken genleşen malzemelerde karşılaşılr. Bu aşınma talaş malzemesinin atmosferle reaksiyonu veya oluşan testere dişlerinin abrazyonla sertleşmesiyle meydana gelmektedir. Bu tür aşınma aşağıdaki faktörlerle en aza indirilebilir;

- Kesici takım malzemesinin kırılma tokluğunun arttırılması,
- Kesici takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki temas alanını arttıran dalma açısının arttırılmasıyla,
- Kesici kenarların pahlanması,
- Kesme derinliğinin azaltılması,
- Kesici takım malzemesinin ısıl sertlik ve deformasyon direncini arttırarak,
- Talaş kaldırma işleminin çok paso verilerek gerçekleştirilmesi.

Çentğin derinliği genellikle abrazyonun ve özellikle işlenen parçaların sert bir yüzey tabakasına sahip olması veya işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan abraziv talaşın bir sonucudur. Kullanılan bir soğutucunun neden olduğu veya takım ile atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyon veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyon da çentik aşınmasına neden olur. Aşırı çentik aşınması takımın yeniden bilenmesini zorlaştırır ve özellikle seramik parçalarda kırılmaya neden olur [39], [40]. Şekil 3.10’da kesici takım çentik aşınması örneği gösterilmektedir.

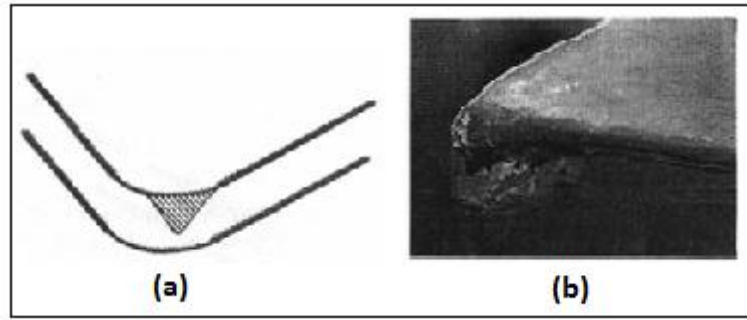


Şekil 3.10 Kesici takım çentik aşınması [42], [63]

3.4.4 Burun Yarıçapı Aşınması

Kesici takımın ucunda oluşan bu aşınma, serbest yüzey aşınmasında olduğu gibi abrazyon aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Bu aşınma takım burun

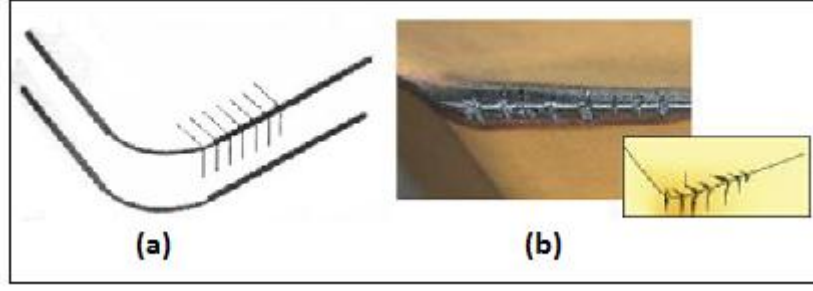
yarıçapında, serbest yüzeyinin sonuna yakın bölgesinde iz kenarı üzerinde meydana gelir. Talaş kaldırma esnasında kesici takım kenarının tamamı kesme yapmadığından sadece kesme derinliğinde meydana gelmektedir. Bu aşınma çoğu zaman serbest yüzey aşınmasından daha çabuk meydana gelmektedir. Kesici takımın burun kısmında oluşan bir çentik gerilme etkisi yaparak kesici kenarın bozulmasına neden olur. Bu aşınma serbest yüzey ile çentik aşınmasının kombinasyonuna benzer ve öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Aşırı burun aşınması işlenmiş yüzeyin kalitesini azaltır [39], [56]. Şekil 3.11’de kesici takım burun aşınması örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Kesici takım burun aşınması [42]

3.4.5 Isıl ve Mekanik Çatlaklar

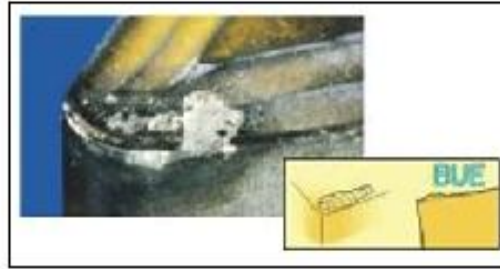
İş parçası işlenirken meydana gelen yüksek sıcaklık oluşumuyla ve talaş kaldırma işlemi sonlandığında kesici takımın soğumasıyla takım yüzeyinde büzülme ve genleşmeler meydana gelir. Çatlaklar ilk önce talaş yüzeyinde başlar ve daha sonra takım serbest yüzey kenarından aşağıya doğru yayılır. Mekanik çatlaklar, kesintili talaş kaldırmada takımın değişken yüklerle yüklenmesi nedeniyle oluşur. Bu tip çatlaklar; özellikle bir soğutma sıvısı kullanıldığında değişken ısı yükleri altında kesme kenarlarına dik olarak oluşan çatlaklar ve değişken mekanik yükler nedeniyle kesme kenarlarına paralel olarak oluşan çatlaklar olarak meydana gelmektedir. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde deformasyona uğramasına neden olur [39], [40]. Şekil 3.12’de kesici takım ısı çatlak örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Kesici takım ısı çatlaklar [42], [64]

3.4.6 Yığma Ağız Oluşumu

Yığma ağız; işlenen malzemenin kesme kenarlarına çok güçlü yapışmasında, birikmesi ve çıkıntı oluşturmalarıyla meydana gelir. Talaş kaldırma işlemi oldukça düşük hızlarda gerçekleştirildiği koşulda krater oluşması için kesici takım yeterli derecede yüksek sıcaklığa sahip olmadığı ve deformasyon işleminin yüksek olmadığı takdirde sürtünme aşınması meydana gelir. Bu işlemde, iş parçasından talaş kesikli olarak aktığı zaman genellikle yığma ağız ile birleşir. Yığma ağız, düşük kesme hızlarında meydana geldiğinden kesici uç bozulmadığı sürece ciddi bir problem oluşmayabilir, ancak yığma ağız oluşumu, etkili kesme derinliğini değiştirdiği böylelikle kesme derinliğinin kararsız olmasına ve dolayısıyla kalitesiz bir işlenmiş yüzeyin meydana gelmesine neden olduğu için istenilmez. Şekil 3.13'te kesici takım yığma ağız oluşumu gösterilmektedir.



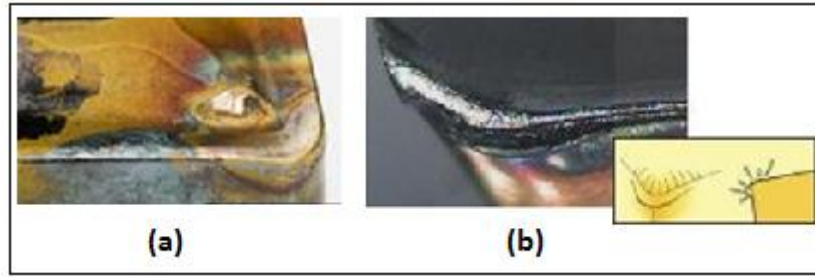
Şekil 3.13 Kesici takım yığma ağız (BUE) oluşumu [64]

Kır dökme demirler işlendiğinde, yığma ağız kesici takımdan zor ayrılırken düşük, hızlarda çelik işlendiğinde yığma ağız takımdan kolayca ayrılır. Kesici takıma yapışan bu talaş ayrıldığında, kesici takım malzemesinden küçük zerrecikler uzaklaşırsa bu yapışma aşınma ile neticelenir. Bazı durumlarda büyük kesici takım parçaları bile ayrılabilir. Yığma ağız oluşumu, pozitif talaş açılı takımlar kullanılarak, yüzey

pürüzlülüğü çok az takımlar kullanılarak, yağlayıcılık özelliği arttırılmış soğutucular kullanarak, yüksek basınçlı soğutucuyu direk talaş yüzeyine sevk ederek ve yüksek kesme hızları kullanılarak minimuma indirilebilir [39], [40].

3.4.7 Plastik Deformasyon

Kesici takımların kullanılabileceği belirli talaş kaldırma şartları mevcut olup çelikler, süper alaşımlar ve işlenebilirliği düşük diğer malzemeler işlendiği zaman kesici takım basma gerilimi altında plastik deformasyona maruz kalır veya kırılabilirler. Bu alaşımlar işlenirken kesici takımın hızla körlenmesi, takım temas yüzeyinin yumuşaması ve plastik deformasyonu yüzünden kesici takım geometrisinin bozulmasına neden olur. Şekil 3.14'te kesici takım plastik deformasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Kesici takım plastik deformasyonu [64]

Kesme kenarlarının deformasyonu genellikle yüksek ilerleme hızlarında veya takım sertliğinin artan kesme hızı ve sıcaklıkla birlikte azaldığı yüksek kesme hızlarında oluşur. Bu işlem, kesici takım malzemesinden her hangi bir talaş kaldırmadığı için aşınmadan daha fazla bir deformasyon gerçekleştirir. Kesme kenarındaki aşırı deformasyon boyutsal doğruluğun azalmasına, kötü bir yüzey kalitesine ve aşırı serbest yüzey aşınmasına veya takımın kırılmasına neden olur [39], [40].

Oluşan aşınma tipleri ve sebep olan aşınma mekanizmaları aşağıdaki gibidir;

- Serbest yüzey kenar aşınması: Abrasyon aşınma mekanizması ile,
- Krater aşınması: Abrasyon ve difüzyon aşınma mekanizması ile,
- Çentik aşınması: Adhezyon, oksidasyon ve mekanik aşınma mekanizması ile,
- Burun yarıçapı aşınması: Abrasyon ve oksidasyon aşınma mekanizması ile,

- Isıl çatlaklar: Isıl yorulma mekanizması ile,
- Mekanik çatlaklar: Mekanik yorulma mekanizması ile,
- Yığma ağız oluşumu: Adhezyon aşınma mekanizması ile,
- Plastik deformasyon: Abrasyon aşınma mekanizması ile gerçekleşmektedir.

3.5 Takım Ömrü

Kesici takımlarda işleme başlamadan önce yapılan son bileme işlemi ile işlemeden sonra yapılacak ikinci bileme arasındaki takımın aktif kullanıldığı zaman, kesici takımların ömrünü belirtir. Takım ömrü, bu iki bileme arasındaki gerçek işleme zamanı, kesme uzunluğu, talaş hacmi ve işlenen parça sayıları ile de belirtilebilir. Bu yollarla hesaplanan takım ömrü, farklı değerlerde olabilir ve net bir sonuca gidilemeyebilir.

Genelde takım ömrü hesabı için geçen gerçek işleme zamanı kabul edilir. İşleme sonunda takımlardaki bazı belirtiler bize takım ömrü sonunu gösterir. Aşınma büyüklükleri, serbest yüzey ve talaş yüzeyindeki aşınmaların ölçü büyüklükleri esas alınarak sonuca gidilir. Takımın bozulmasındaki diğer belirtiler; iş parçası boyutlarının istenilen ölçülerden uzaklaşması, işlenen parçadaki yüzey kalitesinin bozularak istenmeyen değerlerde yüzey pürüzlülüğünün ortaya çıkması, kesici takımın kesme kenarından ufak bir parçanın kopması, takımın kırılarak tamamen hasar görmesi, kesme işlemi sırasında kesme kuvvetinin artarak büyümesi ve sonucunda harcanan güçteki artış olarak sıralanabilir [43].

3.5.1 Takım Ömrüne Etki Eden Faktörler

Takım ömrüne etki eden önemli faktörleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kesme şartları,
- Takım geometrisi,
- Takım malzemesi,
- İş parçası malzemesi.

3.5.1.1 Kesme Şartları

Takım ömrünü etkileyen önemli etkilere olan kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği, kaldırılan metal miktarını ve imalatı belirler. Bu etki Taylor formülünde;

$$VT^n = C \quad (3.1)$$

İlerleme ve kesme derinliği değerlerinin ilavesiyle;

$$T = \frac{K}{V^{1/n} f^{1/n1} a^{1/n2}} \quad (3.2)$$

T: Takım ömrü (dak)

V: Kesme hızı (m/dak)

f: İlerleme (mm/dev)

a: Kesme derinliği (mm)

K: Takım geometrisi ve takım-iş parçası için bir sabit.

1/n, 1/n1, 1/n2: Sırasıyla hız, ilerleme ve kesme derinliğinin üstelleri [43].

3.5.1.2 Takım Geometrisi

Bu faktör, talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerini, talaş formasyonunu, ısıyı etkileyerek aşınmayı oluşturur. Gevrek ve sert metal takım malzemelerinde, genellikle küçük veya negatif talaş açıları verilir. Böylece takımın kuvvetlendirilmesi sağlanır. Büyük talaş açıları, ısı geçiş alanının daraltılmasını sağlar. Bununla beraber takım mukavemetinin azalmasına neden olur. Optimal bir talaş açısının seçilmesiyle oluşturulan takım geometrisi, aşınma oluşumunda etkin bir faktördür [43].

3.5.1.3 Takım Malzemesi

Takım malzemeleri, yüksek sertlik ve sağlamlığa sahip olduklarında iyi bir aşınma direnci, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda kararlılık gösterirler. En uzun ömürlü takım malzemesi seramikler, sonra sert metaller ve HSS takımlardır [43].

3.5.1.4 İş Parçası Malzemesi

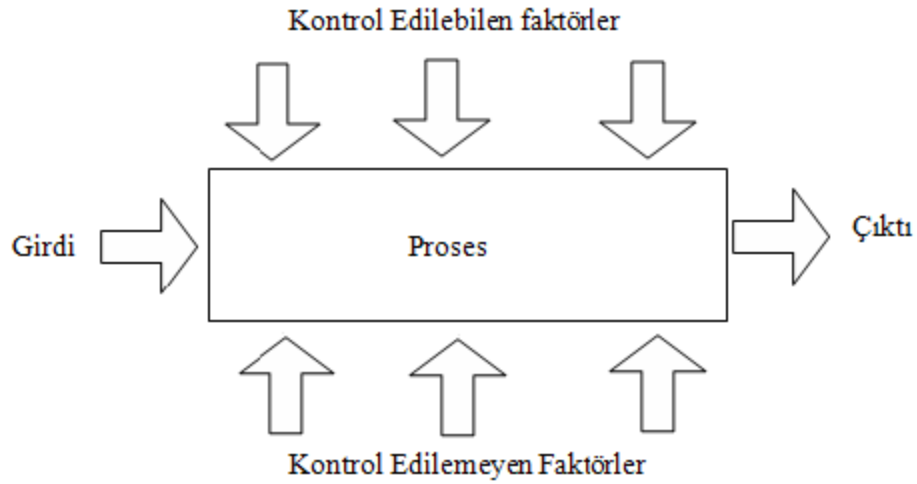
İş parçası malzemesinin mikro yapısı, sertliği ve çalışma sertleşmesi gibi özellikleri, stabilite ve takım aşınması üzerinde etkili olduğundan takım ömrünü belirlerler. İş

parçası malzemesi sertleştikçe kesici takım daha çok aşınır dolayısıyla takım ömrü azalmaya başlar. Çeşitli özellikteki katmanlardan oluşan iş parçası malzemesi, aşınmayı ve takım ömrünü etkilediğinden, seçilen malzemenin yapısı ve kompozisyonu homojen olmalıdır. Çalışma sertleşmesi bazen istenilen bir durum olmasına rağmen takım ömrünü azaltır. Takım ömrünü etkileyen diğer faktörlerden bazıları talaş geometrisi, kesme sıvısı ve takım tezgâhıdır [43].

DENEYSEL TASARIM

4.1 Deney Tasarımı ve Modelleme Teknikleri

Deney tasarımı, prosesi etkileyen faktörler üzerinde değişiklikler yaparak proses tepkisinin gözlenmesini sağlayan testler serisidir. Deneyler özel proses ya da sistemler ile ilgili bir takım verilerin elde edilmesi için kullanılır [40].



Şekil 4.1 Prosesin genel modeli

Proses; makinelerin kombinasyonu, metotlar, insanlar veya çıktı üreten diğer kaynaklar topluluğu olarak tanımlanabilir. Deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol edilen ve edilemeyen çevre değişkenleridir. Deney değişkenlerinin bir diğer adı olan faktörlerin belirlenmesi deneyin planlama prosesini doğrudan etkileyeceğinden dolayı oldukça önemlidir. Deneyi etkileyen kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve

kesici takım geometrisi gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilmeyen faktörler ise deney sırasında meydana gelen ve kontrol altında olmayan faktörlerdir. İşlem sırasında oluşan sıcaklık, ortamdaki nem, kesici takım aşınması gibi faktörler kontrol edilemeyen faktörlere örnek olarak gösterilebilir. Deneysel tasarım mühendislik çalışmalarında üretim prosesinin performansının geliştirilmesinde önemli rol üstlenmektedir. Prosesin geliştirilmesinde deneysel tasarım tekniklerinin uygulanması ile ürün geliştirilir, değişkenlik azalır ve hedef fonksiyonlara yakın sonuçlar elde edilerek maliyetin düşürülmesi sağlanır.

Deneysel bir çalışmada sistematik bir yaklaşım uygulandığı zaman, o çalışmadan en iyi sonuç elde edilir. Genel olarak deneysel bir çalışma; problemin belirlenmesi, bağımlı ya da yanıt değişkenlerinin seçimi, bağımsız değişkenlerin seçimi, bağımsız değişkenlerin seviyelerinin belirlenmesi ve etken düzeylerinin nasıl birleştirileceği gibi aşamalarından meydana gelmektedir. Deneysel tasarım; alınan gözlemlerin sayısı, deney sırası, kullanılacak rastgele eleştirme yöntemi ve deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Çözümleme ise; veri toplama ve işleme, deney istatistiklerinin hesaplanması ve sonuçların yorumlanmasını içerir.

Matematiksel modelleme, bir fiziksel sistemin ya da işlemin temel özelliklerinin eşitlik ya da formül şeklinde verilmesidir. Bir matematiksel model genel olarak şu şekilde ifade edilebilir;

Bağımlı Değişken = f (Bağımsız değişken, parametreler, etkili fonksiyon)

Bağımlı değişken, sistemin durumunu ya da davranışlarını yansıtan bir özellik olup eşitliğin sağındaki değerlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bağımsız değişken ise, sistemin durum ya da davranışlarının belirlendiği zaman veya uzay gibi boyutlardır. Parametreler, sistemin özelliklerini ya da yapısını belirleyen katsayılardır. Etkili fonksiyonlar ise sistem üzerine etkisi olan dış kuvvetlerdir [47].

4.2 Taguchi Metodu

Üretim yapan işletmeler, ürünlerini müşterilerinin beklentilerini fazlasıyla karşılayabilecek şekilde sunabilmek için sürekli rekabet içerisindeydirler. İşletmelerin, fonksiyonunu sorunsuz bir şekilde yerine getirebilen, daha kaliteli ve daha ucuz ürünleri, müşterilerine kısa süre içerisinde ulaştırabilmek için gösterdikleri çaba sayesinde kalite geliştirme bilincinde hızlı bir yayılma gerçekleşmiştir. İşletmelerin verimliliklerinin artırılması ve rekabet avantajlarının yükseltilmesi için, kalitenin sadece üretim hattında değil mamul ve proses tasarımı aşamalarında da doğru bir şekilde planlanması gerekmektedir [44], [45].

İşletmelerin, yüksek rekabet içeren pazarda varlıklarını sürdürebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalite geliştirme çalışmalarına önem göstermeleri gerekmektedir. İşletmelerin ayakta kalabilmesi ve rekabet içinde bulunabilmesi için kalite iyileştirme ve geliştirme çalışmaları işletmenin temel faaliyetleri arasına girmiştir [46].

Üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler görülmüş ve günümüz gereksinimleri için teknikler öne sürülmüş, ya da teoride kalmış yöntemler uygulamaya konulmuştur. Bunlardan biri de, özellikle sanayilerinin oldukça gelişmiş olduğu ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve kısa sürede sonuca ulaşamadığından uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi sonuçlar veren ortogonal dizileri geliştirmiştir [45].

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini tek tek değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi metodu kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe de uygulanmıştır. Taguchi, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur [46].

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm

kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler tasarlamaktır. Taguchi deneysel tasarım yöntemi; ürünlerin kaliteli olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir [45].

4.2.1 Taguchi Metodunun Gelişimi

Taguchi metodunun temelini oluşturan deney tasarımını, 1920'lerde tarım alanındaki araştırmalar sırasında İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher bulmuş ve geliştirmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için kullanılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Deneysel tasarım yöntemi, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve kısa sürede Amerika'nın bu alanda Dünya'da lider konuma gelmesine çok büyük katkıda bulunmuştur. [46].

İkinci Dünya savaşının sonlarına doğru, Japonya'daki en önemli projelerden biri telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Gerçekleştirilecek projenin amacı A.B.D'de Bell laboratuvarlarında kullanılan telefon sisteminin aynısının Japonya'ya kurulmasıydı. Ancak Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuvarlarının ancak %2'si kadardı. Bu nedenle projenin tamamlanması için 20 yıl gerekeceği tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak için, tüm araştırma personeli kapsayacak şekilde metotların standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılmasını önerdi. Önerisinin kabul edilmesiyle proje 4 yılda tamamlanmış ve Taguchi üne kavuşmuştur [44].

4.2.2 Taguchi Felsefesi

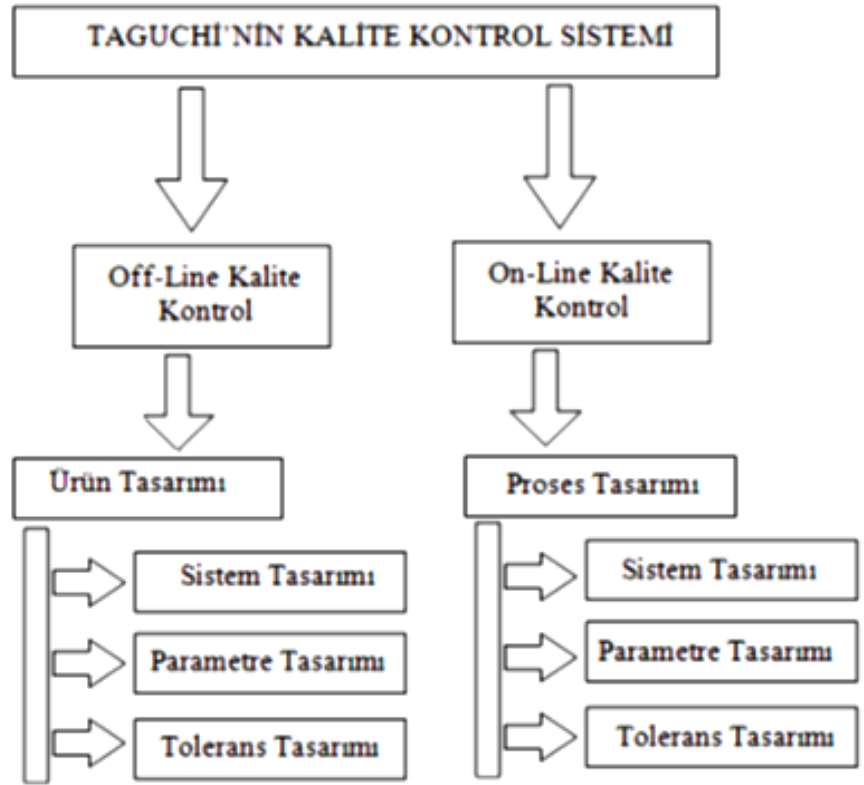
Taguchi' nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

- Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır,
- Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur,
- Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir,

- Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır,
- Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir,
- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir. Sürekli azaltmayı içerir,
- İstatistiki olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmaları azaltmak için kullanılır [44].

4.2.3 Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

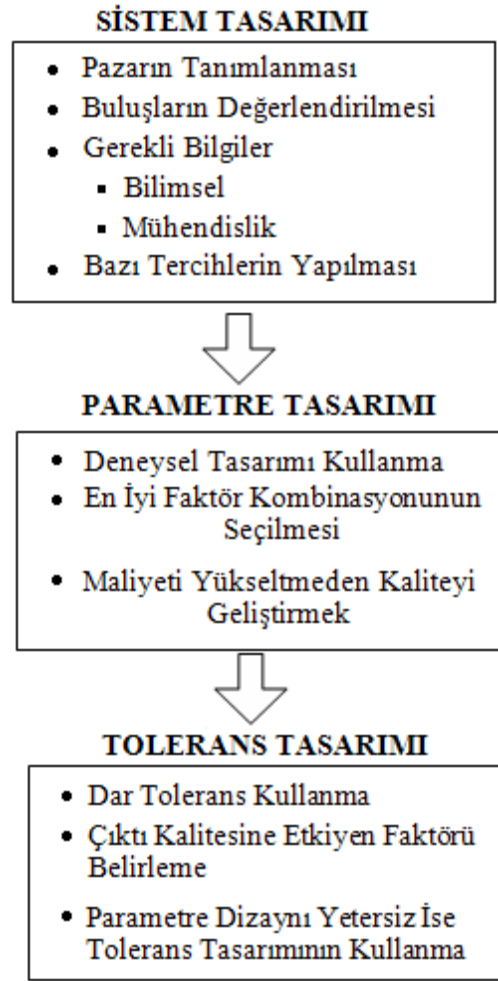
Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından on-line (çevirim içi) ve off-line (çevrim dışı) olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi' nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Taguchi' nin kalite kontrol sistemi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Taguchi' nin kalite kontrol sistemi [44]

On-line kalite kontrolü; ürün imalatı sırasında ve imalat sonrasındaki, kalite faaliyetlerini kapsamaktadır. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetleri arasında yer almaktadır.

Off-line kalite kontrolü; pazar araştırması ile ürün ve üretim proseslerinin geliştirilmesi için yapılan kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretime başlanmadan gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır [46]. Off-line kalite kontrol yöntemleri, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak ürünlerin kullanım ömrünü ve ürün kalitesini iyileştirmek amacıyla kullanılır. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır [45]. Taguchi metodunun sistematığı Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3 Taguchi metodunun sistematığı [45]

4.2.3.1 Sistem Tasarımı

Taguchi metodunun ilk aşamasını sistem tasarımı oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir. Bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanarak ürün için en uygun olanı seçilir. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin edinilmesi, malzeme ve ekipmanla ilgili bilgi ve araştırma neticesinde gerekli seçimlerin yapılması bu aşamada gerçekleştirilir. [45].

Burada temel amaç, üretim aşamasında, belirlenmiş limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, üretimi gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik ve bilimsel gelişmelerden faydalanılabilir [44].

4.2.3.2 Parametre Tasarımı

Taguchi'ye göre, hem ürün hem de proses tasarımı için ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici aşama parametre tasarımı aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir [47].

Ürün parametre tasarımı ve proses parametre tasarımında temel amaç, üründe ve proseste varyasyon yaratan kontrol dışı faktörlere karşı, kontrol edilebilen parametrelerin değerlerini optimum seçerek, ürün ve prosesteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına sağlam tasarım adını vermiştir.

Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, sıcaklık, nem, toz gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün uygun değerinde seçilmesi neticesinde azaltılabilmektedir.

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimum değerlerin belirlenmesi ve optimum ayarlarının yapılması gereken çok sayıda faktör bulunmaktadır. Üstelik bu faktörlerin birçoğu birbirleriyle etkileşim içerisindedir. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, birçok faktörün ürün üzerindeki etkilerini düşük maliyetle belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasında almak mümkündür[46].

4.2.3.3 Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişebilen faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır. Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi,
- Hedef değer en iyidir.

4.2.3.3.1 En Büyük En İyi

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınırı yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak kesici takım ömrü verilebilir.

$$S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (4.1)$$

4.2.3.3.2 En Küçük En İyi

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak takım aşınması verilebilir.

$$S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4.2)$$

4.2.3.3.3 Hedef Değer En İyi

Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

$$S / N = 10 \log \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \quad (4.3)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s²” ise varyansı ifade etmektedir [46].

4.3 ANOVA (Varyans Analizi)

Ürün veya proses geliştirmenin amacı; müşteri beklentileri ve ihtiyaçları doğrultusunda ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Deneylerin amacı ise

ürün veya prosesin değişimini kontrol etmek ve mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Daha sonra performansı etkileyen parametrelerin hangileri olduğu ile ilgili bir karar verilmelidir. Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir bölümü varyans ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde ANOVA istatistiksel metotları kullanılmaktadır. ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiğe dayalı bir araçtır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Deneysel tasarım esasında varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930'larda İngiliz istatistikçisi Fisher tarafından geliştirilmiştir. İsminin baş harfi F'ye dayanılarak yönteme F testi de denilmektedir. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduklarından çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılmaktadır [48], [49].

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizi hesaplamalarında kullanılan rotasyonlar şöylece sunulabilir;

SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı

SS_A : A faktörü için kareler toplamı

SS_o : Hata kareleri toplamı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

V_A : A'nın serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$: A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi

V_o : Hata varyansı

N : Elde edilen toplam veri sayısı

n_A : A faktörü için veri sayısı

T : Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

y_i : Gözlenmiş değer

k_A : A faktörünün kademe sayısı

4.3.1 Kareler Toplamı

Toplam varyansı bileşenlerine ayırdığımızda üç çeşit varyasyon karşımıza çıkmaktadır;

- Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre (A, B, C ...) varyasyon,
- Bu faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon,
- Hataya göre varyasyondur.

Eğer A ve B gibi iki faktörümüz ve bu faktörler arasında bir etkileşim mevcut ise toplam varyasyon aşağıdaki gibi yazılır.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_o \quad (4.4)$$

$A \times B$, A ve B faktörleri arasındaki etkileşimi temsil etmektedir.

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.5)$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.6)$$

Hata varyasyonu hesaplamının en kolay yolu, toplam kareler toplamından tüm faktörler ve etkileşimlerin kareler toplamının çıkarılmasıdır.

$$SS_o = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (4.7)$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı SS_T 'yi verir.

4.3.2 Serbestlik Derecesi

ANOVA hesaplarını tamamlamak için bir diğer özellik olan serbestlik dereceleri de dikkate alınmalıdır. İstatistiksel olarak serbestlik derecesi, verilerden elde edilen her bir parça bilgi ile ilişkilendirilmektedir [48]. Genel bir tanımlamada bir sonuca varabilmek için yapılması gereken bağımsız karşılaştırmaların sayısıdır. Kareler toplamı gibi serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini vermektedir [49].

İki faktör ve bunların etkileşimleri göz önüne alınırsa;

$$V_T = V_A + V_B + V_{A \times B} + V_0 \quad (4.8)$$

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_T = N - 1 \quad (4.9)$$

Bir faktör ya da sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$V_A = k_A - 1 \quad (4.10)$$

$$V_B = k_B - 1 \quad (4.11)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$V_{A \times B} = (V_A) \times (V_B) \quad (4.12)$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılarak bulunur.

$$V_0 = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B} \quad (4.13)$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi;

$$V_T = (\text{Deneme sayısı} \times \text{Tekrar sayısı}) - 1 \quad (4.14)$$

4.3.3 Varyans

ANOVA tablosundan hesaplanabilen bir değer tanımlayıcısı istatistikte varyans olarak adlandırılır. Hata varyansı, genellikle varyans olarak bilinir ve hata kareleri toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir.

V_e = Hata varyansı

$$V_T = \frac{SS_o}{V_o} \quad (4.15)$$

Hata varyansı, hata (kontrol edilemeyen) faktörlerden kaynaklanan değişimin ölçüsüdür ve deneylerdeki ölçüm hatalarını da içine almaktadır. Faktörler ve etkileşimlerinin varyanslarında aynı şekilde hesaplanmaktadır.

A faktörü için varyans;

$$V_T = \frac{SS_A}{V_A} \quad (4.16)$$

B faktörü için varyans;

$$V_T = \frac{SS_B}{V_B} \quad (4.17)$$

AxB etkileşimi için varyans;

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}} \quad (4.18)$$

şeklinde bulunur.

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir [48]. Sütunların hata varyansının belirlenmesinde kullanılması yaklaşımı tüm sütunlara faktörler atandığında da kullanılabilir. Deneyler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler gerçekte önemli olmayabilirler. Bu faktörlerin atandığı sütunların varyansı küçük olacağından bunlar hata varyansının belirlenmesinde kullanılır. Bir faktörün deney sonucuna katkısı yüzde olarak küçük bir değerse, analiz hesaplamalarında göz ardı edilmesi tasarımda daha büyük önem taşıyan faktörlerin belirlenmesi için gereklidir. Yüzdesel etkinin yanı sıra, kareler toplamı da hata varyansının hesaplanmasında hangi sütunların birleştirileceğinin belirlenmesi için kullanılabilir. Hata varyansı için sütun belirleme işlemi yapılırken F-testi de uygulanabilir. Buna göre; etkisi en çok olan sütunu takip eden küçük etkili sütuna göre önemli olup olmadığını görmek için F-testi uygulanır. Eğer önemli bir F oranı ortaya çıkmazsa, bu iki sütunun etkisi bir sonraki küçük etkili sütunla karşılaştırılmak üzere birleştirilir. Bu işlem önemli bir F oranı bulunana kadar devam eder [49].

4.3.4 F Testi

Testler yapıp veriler elde edildikten ve varyanslar bulunduktan sonra hangi faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğunu görmek için F-testi uygulanmaktadır. Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmediği takdirde, önem derecesi

hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. Bununla birlikte standart F testinin varsayımlardan sapmalara karşı duyarsız olması nedeniyle bazı varsayımları sağlamasa da kullanılabileceği belirtilmektedir. F- testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F tablo oranları karşılaştırılarak, tablo oranından büyük F değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür. Verilerden elde edilen F değeri faktör ya da etkileşimi varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (4.19)$$

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan İş Parçası ve Kesici Takım

5.1.1 İş Parçası

Deneylerde iş parçası olarak kullanılan AISI 1040 çeliği; transmisyon millerinin, rayların ve dişlilerin yapımında kullanılmaktadır. Tornalama deneyleri için, AISI 1040 çeliğinden 70 mm çapında ve 140 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 AISI 1040 iş parçası

İş parçasının kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de ve mekanik özellikleri de Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
0,39	0,61	0,24	0,007	0,009	0,16	0,09	0,34	0,017

Çizelge 5.2 AISI 1040 çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama %	Sertlik (HB)
414	631	30	149

Deneylerde iş parçası olarak kullanılan AISI 4140 çeliği; otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli ve çark yapımında kullanılmaktadır. Tornalama deneyleri için, AISI 4140 çeliğinden 70 mm çapında ve 140 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi Çizelge 5.3'te ve mekanik özellikleri de Çizelge 5.4'te verilmektedir.

Çizelge 5.3 AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi

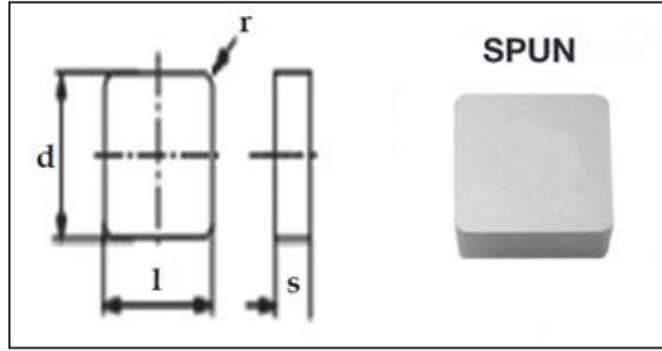
C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
0,41	0,83	0,21	0,027	0,027	0,9	0,18

Çizelge 5.4 AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama %	Sertlik (HB)
417,1	655	25,7	197

5.1.2 Kesici Takım

Deneylerde kullanılan kesici takım kaplamasız WC (Tungsten Karbür) kesici takım olup Böhler marka "SPUN 120308" formunda ve P40 kalitesindedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Kesici uç (Böhler SPUN 120308-P40) geometrisi ve ölçüleri

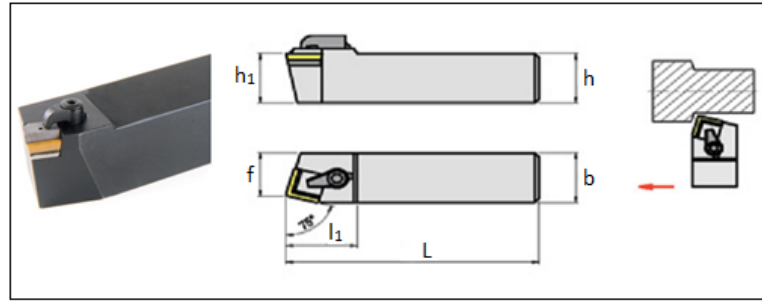
($l=12,7\text{mm}$, $d=12,7\text{mm}$, $s=3,18\text{mm}$ ve $r=0,8\text{mm}$).

Sert metaller (sinterlenmiş karbürler) toz halinde bulunan alaşım metallerin karbürlerinden sinterleme yolu ile yani yüksek basınç ve sıcaklık altında tutularak elde edilir. Karbon (C) bir metal ile birleştiğinde karbür denilen çok sert bir tanecik halini alır. Bu şekilde tungsten (WC), titanyum (TiC) ve tantal (TaC) karbürleri oluşturulur. Toz halinde bu malzemelerden, bağlayıcı malzeme olarak kobalt (Co) kullanılarak sert metaller elde edilir. Sert metallerin başlıca özellikleri; geniş bir sıcaklık alanında çalışma (900°C - 1000°C), yüksek sertlik ve buna bağlı aşınma dayanımı yüksek, yüksek elastiklik modülü ve ısı iletkenliği, düşük ısı genleşmesi olarak söylenebilir [30]. Kesici takım kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 5.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.5 P40 Kesici takım kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri [60]

Bileşimi			Vickers Sertliği	Eğme Mukavemeti	Basma Mukavemeti	Elastiklik Modülü
WC	TiC+TaC	Co				
%	%	%	HV 30	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
74	12	14	1350	1900	4600	560000

Deneylerde yanaşma açısı 75° , serbest açısı 11° olacak şekilde tasarlanmış Takımsaş marka CSBPL 2525 M 12 takım tutucusu kullanılmıştır (Şekil 5.3). Kesici ucun takım tutucuya montajı mekanik sıkımal olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3 Takım tutucu (Takımsaş CSBPL 2525 M 12) geometrisi ve ölçüleri

($h=25\text{mm}$, $h_1=25\text{mm}$, $b=25\text{mm}$, $L=150\text{mm}$, $l_1=36\text{mm}$, $f=22\text{mm}$)

5.2 Deneylerde Kullanılan Tezgâh, Cihaz ve Ekipmanlar

Deneyler, Goodway marka GA-230 model CNC torna tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhının özellikleri Çizelge 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 Goodway GA-230 CNC torna tezgâhı

Çizelge 5.6 Goodway GA-230 CNC torna tezgâhının özellikleri

KAPASİTE	Maks. Çevirme Çapı (mm)	490 mm
	Maks. Tornalama Çapı (mm)	410 mm
	Maks. Tornalama Boyu (mm)	650 mm
İŞMİLİ	İşmili Devri (dev/dak)	4200 rpm
	İşmili Motor Gücü (kW)	11 kW
TARET	Takım Adedi	10
CNC	Kontrol Ünitesi	Fanuc 18-T

Takım aşınmaları, SOIF marka XJP-2 model optik mikroskoba bağlanan oküler mikrometresi ile 100X büyütmeyle ölçülmüştür.



Şekil 5.5 SOIF marka XJP-2 model optik mikroskop

Mikroskopta incelenen serbest yüzey aşınmalarının görüntüleri Ogatech OG5110 marka fotoğraf makinesi ile çekilmiştir (Şekil 5.5).

5.3 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılacak İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Planlanması

Deneyler gerçekleştirilmeden önce, kullanılan talaş kaldırma yönteminin işleme parametrelerinin ve istenen amaç üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğunun belirlenmesi gerekir. Talaş kaldırma parametrelerinin belirlenen amaç üzerine etkilerinin araştırılmasında tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi kullanıldığı takdirde çok sayıda deneyin gerçekleştirilmesi gerektirmektedir. Bu koşullarda deneylerin yapılması için oldukça fazla zaman harcanacağı ve işlem maliyetinin fazla olacağı göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı bu çalışmada, yapılacak deney sayısını azaltan ve maliyeti düşüren Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca deney sonuçları ANOVA yöntemiyle de analiz edilmiştir.

Çalışmada L_9 ortogonal dizisi kullanılarak Minitab® programının Taguchi metodu araç çubuğunda deney sayısı ve seçilen parametrelerin hangi seviyelerinin kullanılacağı belirlenmiştir. AISI 1040 çeliğinin silindirik tornalaması ile gerçekleştirilen deneylerde, takım aşınma bölgeleri incelenmiştir. Bu amaçla kesme hızları (150, 175, 200 m/dak), ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) ve kesme derinliği değerleri de (1, 1.5, 2 mm) olarak

kesici takım katalogları ve literatür incelenerek seçilmiştir. Belirlenen bu deneyler sonucunda ölçülen serbest yüzey takım aşınma izi yükseklik değerleri kullanılarak S/N oranları bulunmuştur ve ayrıca ANOVA ile de sonuçlar Minitab® programında analiz edilmiştir.

Deneylerde kullanılan parametre ve seviyeleri Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7 Deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri

Parametreler	Seviyeleri		
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Hızı A, (m/dak)	150	175	200
İlerleme B, (mm/dev)	0,1	0,2	0,3
Kesme Derinliği C, (mm)	1	1,5	2

Çizelge 5.8 L₉ ortagonal dizisi

Deney Numarası	Faktörler ve Seviyeleri		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

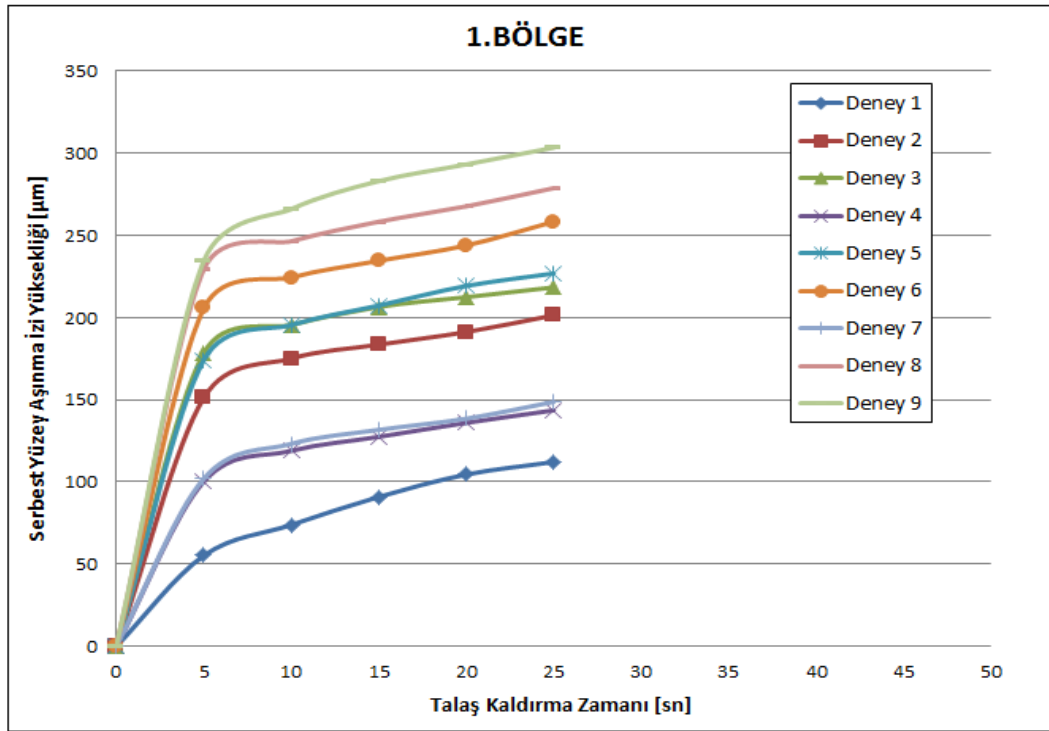
5.4 Deney Sonuçları

Tornalama işleminde, kesici takımın ömrünü tamamlayıncaya kadar geçirdiği süreçte üç farklı bölge meydana gelmektedir. Birinci bölgede takım kısa zamanda oldukça fazla aşınır. İkinci bölgede takım kararlı bir şekilde aşınmaya devam eder. Üçüncü bölgede aşınma miktarı tekrar artış göstermektedir. Bu çalışmada AISI 1040 çelik malzemesinin tornalamasında takım aşınmasına neden olan talaş kaldırma parametrelerinin etkileri her bölge için değerlendirilmiştir. Bu üç bölgede talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri karşılaştırılmıştır.

AISI 1040 çelik malzemesinin tornalanması neticesinde kesici takım serbest yüzey aşınması sonuçlarının varyans analizlerinde “daha düşük daha iyidir” fonksiyonu kullanılmıştır. Taguchi metodu ile belirlenen deneylerin gerçekleştirilmesi ile elde edilen aşınma değerleri kullanılarak S/N oranları bulunmuştur ve S/N grafikleri çizilerek sonuçlar optimize edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği üç farklı kontrol faktörünü oluşturmakta ve her bir faktör üç farklı seviyeden oluşmaktadır. Taguchi metodu ile belirlenen deneylere ANOVA yöntemi uygulanarak talaş kaldırma parametrelerinin bölgelerdeki katkı oranları bulunmuştur. Taguchi metodu ve ANOVA yöntemi ile bulunan sonuçlar karşılaştırılarak elde edilen verilerin kontrolü sağlanmıştır.

5.4.1 Birinci Bölge Deney Sonuçları

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında takım aşınma eğrisinin birinci bölgedeki aşınma incelenmiştir. Taguchi'nin L_9 ortogonal dizisine göre deneyler gerçekleştirilmiş ve kesici takım aşınma değerleri 5'er saniye aralıklarla ölçülmüştür. Şekil 5.6'da birinci bölgedeki takım aşınma değerleri görülmektedir.



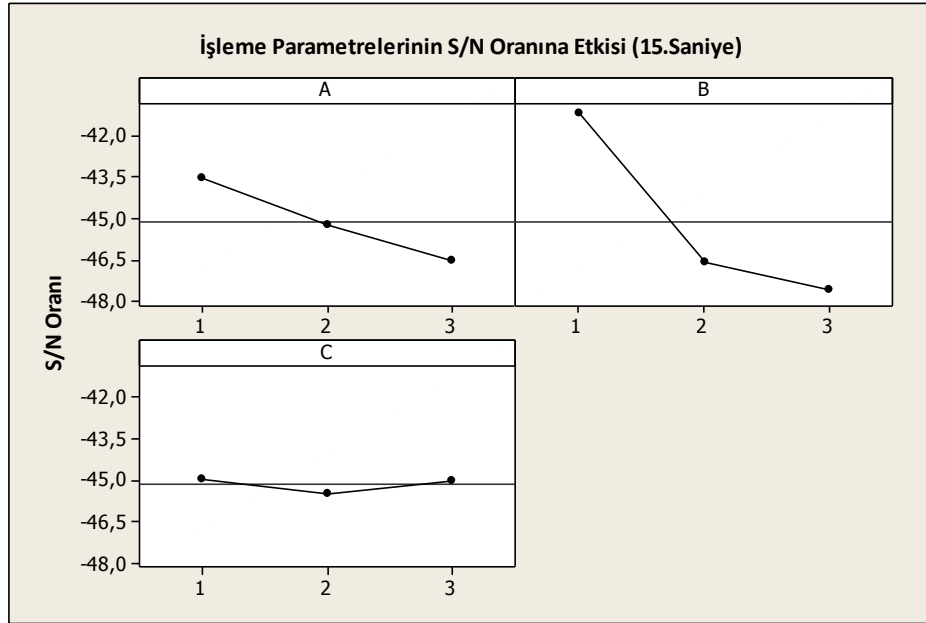
Şekil 5.6 Birinci bölge takım aşınma değerleri

Birinci bölgede deneyler sonucunda 15. saniyelerde ölçülen aşınma değerleri kullanılarak S/N oranları bulunmuştur. Çizelge 5.9'da AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesi sonucunda takım aşınması üzerinde işlem parametrelerinin etkileri görülmektedir. Birinci bölgede her bir deney için 15. saniyede çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri Şekil 5.8'de görülmektedir.

Çizelge 5.9 Birinci bölge 15. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları

Deney No	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]	Serbest Yüzey Aşınma İzi Yüksekliği [µm]	S/N Oranı [dB]
1	150	0,1	1	90,95	-39,17
2	150	0,2	1,5	183,6	-45,27
3	150	0,3	2	206,55	-46,30
4	175	0,1	1,5	127,5	-42,11
5	175	0,2	2	207,4	-46,33
6	175	0,3	1	234,6	-47,40
7	200	0,1	2	131,75	-42,39
8	200	0,2	1	258,4	-48,24
9	200	0,3	1,5	283,05	-49,03

Birinci bölge için 15. saniyedeki talaş kaldırma parametrelerinin S/N oranları şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7 Birinci bölge 15. saniyedeki S/N oranları

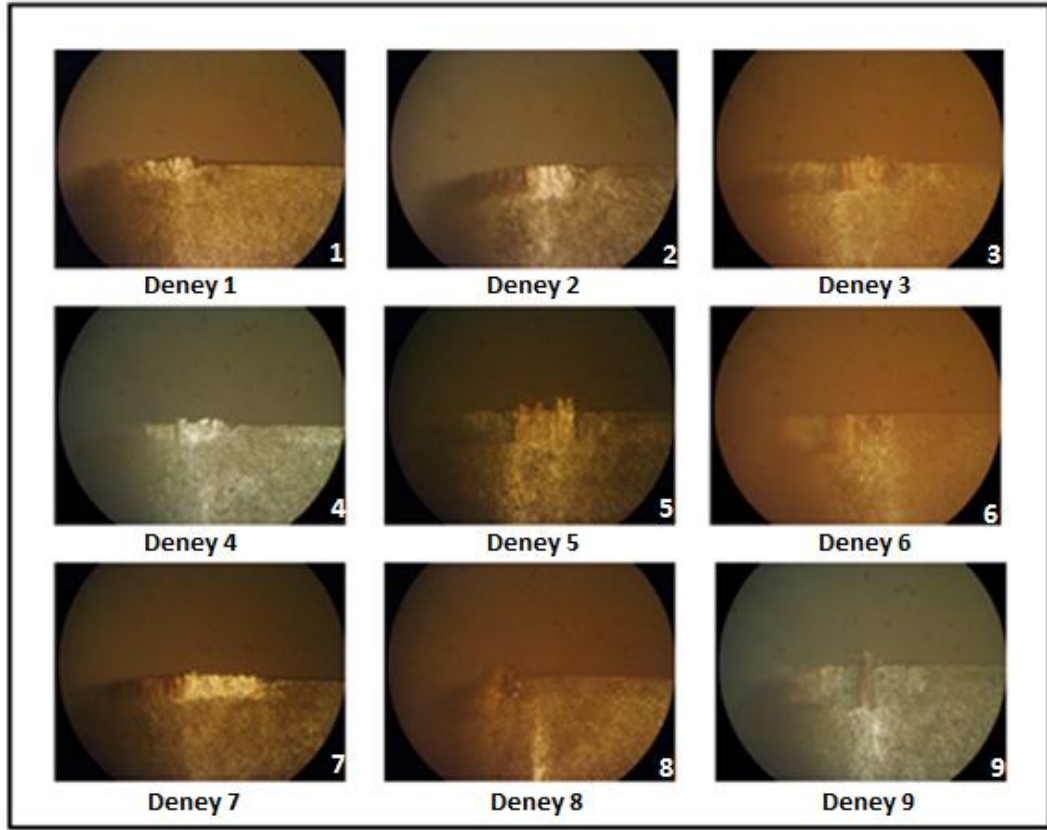
Birinci bölge için AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde işlem parametrelerinin her bir seviyesine göre 15. saniyedeki takım aşınmasına ait S/N oranları Çizelge 5.10’da görülmektedir.

Çizelge 5.10 Birinci bölge 15. saniyedeki S/N oranları

	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]
Seviye 1 (dB)	-43,58	-41,23	-44,94
Seviye 2 (dB)	-45,28	-46,62	-45,47
Seviye 3 (dB)	-46,56	-47,58	-45,01

Herhangi bir parametrenin optimum değeri, S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Şekil 5.7 ve Çizelge 5.10 incelendiğinde deneyler sonucunda birinci bölgede serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerinin en az olması için optimum talaş kaldırma koşullarının A1B1C1 olduğu belirlenmiştir. Birinci bölgede 15. saniyedeki etkinlik değerleri; kesme hızı için 2.97, ilerleme için 6.35, kesme derinliği için 0.53 olarak bulunmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre birinci bölgede, kesme hızı ve

ilerlemenin etkin olduğu, kesme derinliğinin ise etkinliğinin az olduğu görülmüştür. Bu bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.8 Birinci bölge 15. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri

AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde takım aşınmasının birinci bölgesi için 15. saniyede yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.11’de görülmektedir.

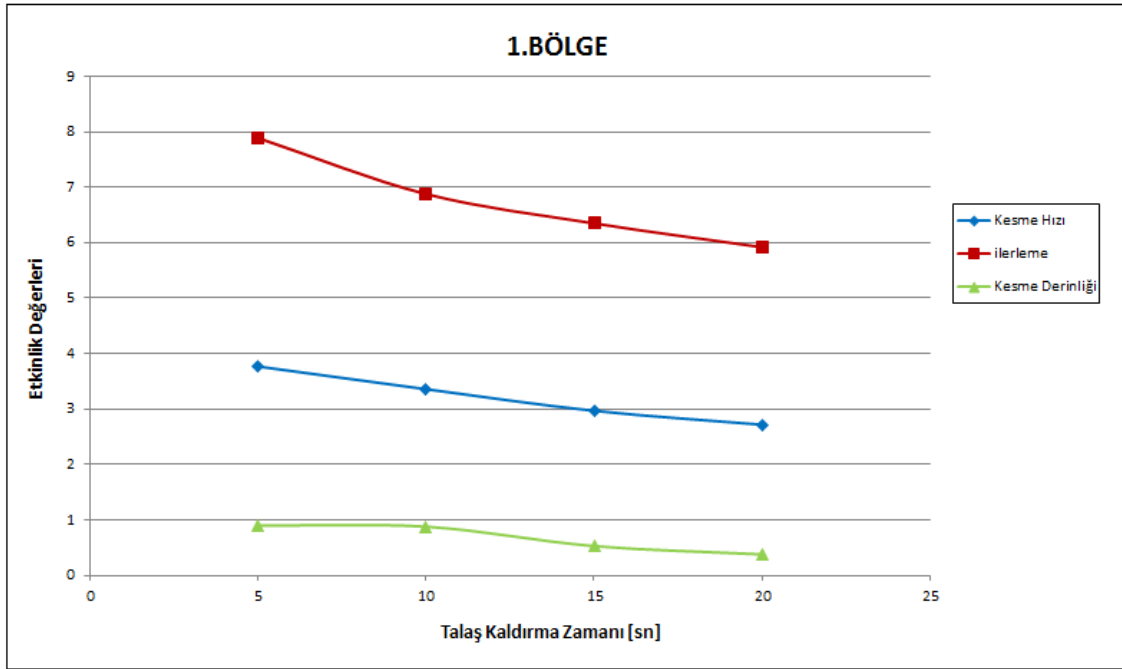
Çizelge 5.5 Birinci bölge 15. saniyedeki ANOVA sonuçları

İşleme Parametreleri	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	(%) Katkı Oranı
A	6163.41	2	3081,7	19,01	18,66
B	26110.2	2	13055,1	80,55	79,04
C	434.945	2	217,472	1,34	1,32
Hata	324.162	2	162,081	-	0,98
Toplam	33032.7	8	-	-	100

ANOVA sonuçları incelendiğinde, birinci bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu, kesme derinliği etkinliğinin az olduğu görülmektedir. Birinci bölgede 15. saniye

için Taguchi metodu ve ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Birinci bölge için 20. saniyeye kadar 5'er saniye aralıklarla etkinlik değerleri bulunmuştur (Şekil 5.9).



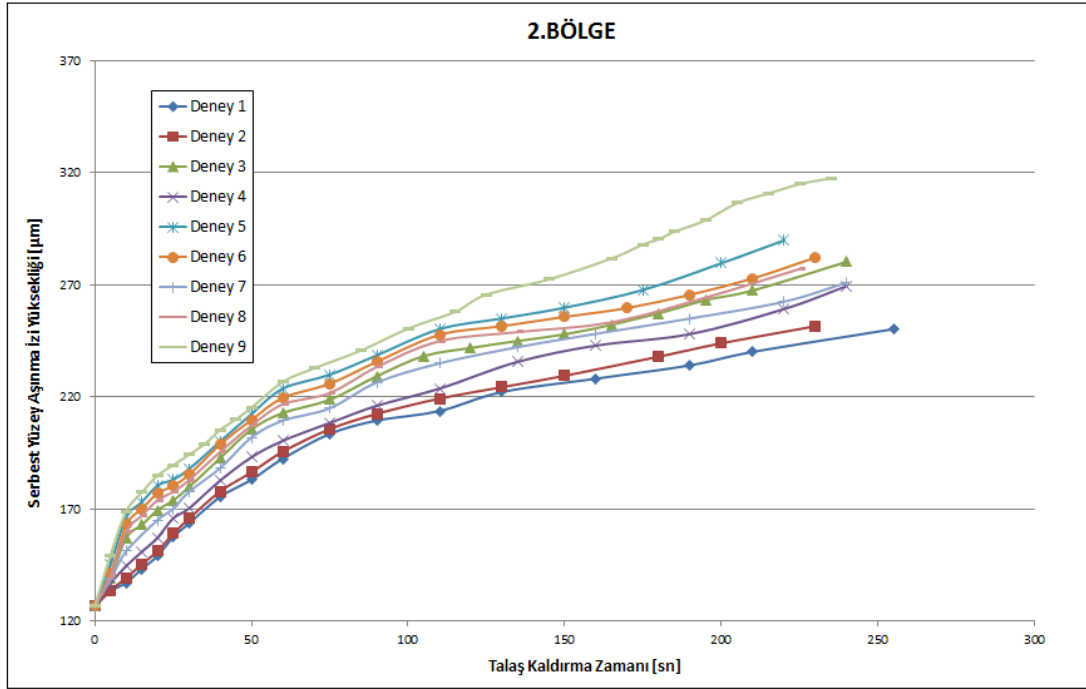
Şekil 5.9 Birinci bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri

Etkinlik değerleri incelendiğinde, birinci aşınma bölgesinde en etkin parametrenin ilerleme olduğu kesme derinliğinin ise fazla etkinlik göstermediği görülmektedir. Ayrıca birinci bölge içerisinde talaş kaldırma süresi arttıkça, ilerleme ve kesme hızının etkinlikleri azalmakta fakat ilerlemenin etkinliği daha fazla azaldığından aralarındaki fark ufalmaktadır.

5.4.2 İkinci Bölge Deney Sonuçları

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında, takım aşınma eğrisinin ikinci bölgesindeki aşınma incelenmiştir. İkinci bölgedeki takım aşınmasının incelenebilmesi için, birinci bölge bitimi kabul edilen kesici takımların serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerlerine talaş kaldırılarak getirilmiş ve böylelikle ikinci bölge deneyleri için başlangıç aşınma değerleri eşitlenmiştir. Taguchi'nin L_9 ortogonal dizisine göre deneyler gerçekleştirilmiş ve belirli

aralıklarla serbest yüzey aşınma izi yükseklik değeri ölçülmüştür. Şekil 5.10'da ikinci bölgedeki takım aşınma değeri görülmektedir.



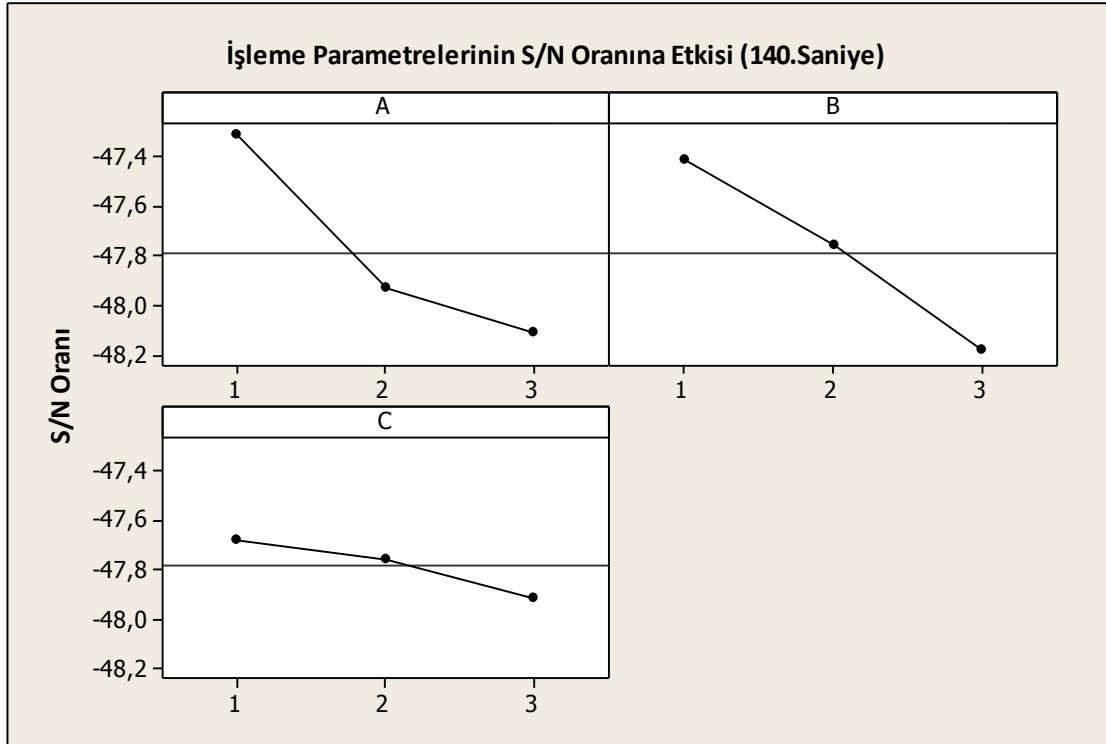
Şekil 5.10 İkinci bölge takım aşınma değeri

İkinci bölge için gerçekleştirilen deneyler sonucunda 140. saniyelerde ölçülen takım aşınma değeri kullanılarak S/N oranları bulunmuştur. AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesi sonucunda takım aşınması üzerinde işlem parametrelerinin etkileri Çizelge 5.12'de görülmektedir. İkinci bölgede her bir deney için 140. saniyede çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri Şekil 5.12'de görülmektedir.

Çizelge 5.6 İkinci bölge 140. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları

Deney No	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]	Serbest Yüzey Aşınma İzi Yüksekliği [μm]	S/N Oranı [dB]
1	150	0,1	1	224,23	-47,01
2	150	0,2	1,5	226,95	-47,11
3	150	0,3	2	245,98	-47,81
4	175	0,1	1,5	237,15	-47,5
5	175	0,2	2	257,45	-48,21
6	175	0,3	1	253,68	-48,08
7	200	0,1	2	243,44	-47,72
8	200	0,2	1	249,68	-47,94
9	200	0,3	1,5	270,75	-48,65

İkinci bölgede 140. saniyedeki talaş kaldırma parametrelerinin S/N oranları şekil 5.11’de görülmektedir.



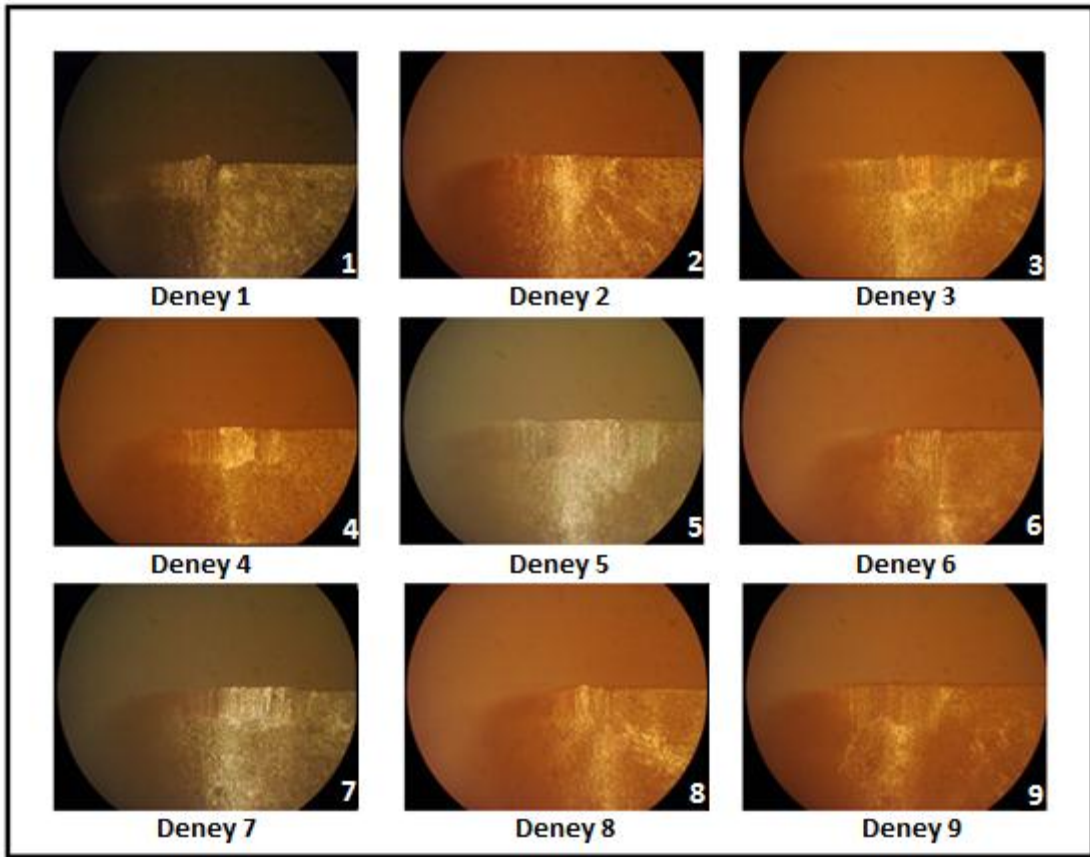
Şekil 5.11 İkinci bölge 140. saniyedeki S/N oranları

İkinci bölge için AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde işlem parametrelerinin her bir seviyesine göre takım aşınmasına ait S/N oranları Çizelge 5.13'te görülmektedir.

Çizelge 5.7 İkinci bölge 140. saniyedeki S/N oranları

	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]
Seviye 1 (dB)	-47,32	-47,41	-47,68
Seviye 2 (dB)	-47,93	-47,76	-47,76
Seviye 3 (dB)	-48,11	-48,19	-47,92

Herhangi bir parametrenin optimum değeri, S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Şekil 5.11 ve Çizelge 5.13 incelendiğinde, deneyler sonucunda ikinci bölgede serbest yüzey aşınma izi yükseklik değeri en az olması için optimum talaş kaldırma koşullarının A1B1C1 olduğu belirlenmiştir. İkinci bölgede seçilen talaş kaldırma parametrelerinde, 140. saniyedeki etkinlik değerleri; kesme hızı için 0.79, ilerleme için 0.77, kesme derinliği için 0.24 olarak bulunmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre ikinci bölgede, kesme hızının ve ilerlemenin etkinlik oranlarının birbirine çok yakın olduğu ve her iki parametrenin de bu bölgede etkin çıktığı, kesme derinliğinin ise fazla etkin olmadığı görülmüştür. İkinci bölgede incelediğimiz talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri birinci bölgeye kıyasla daha düşük çıkmıştır.



Şekil 5.12 İkinci bölge 140. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri

Çizelge 5.14'te AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde takım aşınmasının ikinci bölgesi için 140. saniyede yapılan ANOVA sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.8 İkinci bölge 140. saniyedeki ANOVA sonuçları

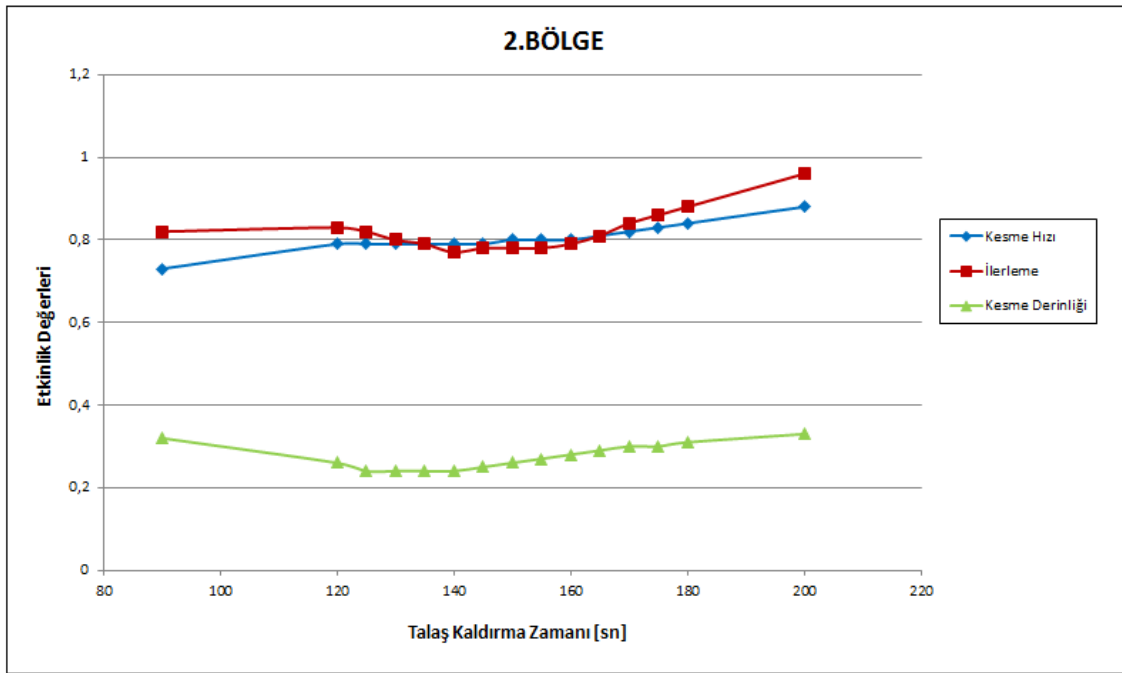
İşleme Parametreleri	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	(%) Katkı Oranı
A	811,84	2	405,92	5,77	46,78
B	719,78	2	359,89	5,12	41,47
C	63,21	2	31,61	0,45	3,64
Hata	140,62	2	70,31	-	8,11
Toplam	1735,46	8	-	-	100

ANOVA sonuçları incelendiğinde, ikinci bölgede kesme hızı ve ilerlemenin aşınma üzerinde etkili olduğu fakat kesme derinliğinin etkinliğinin çok az olduğu görülmektedir. İkinci bölgede 140. saniye için Taguchi metodu ve ANOVA yöntemi

kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

İkinci bölge için, 90. ve 200. saniyeler arasında belirli aralıklarla etkinlik değerleri bulunmuştur. Meydana gelen grafiği daha iyi görebilmek için 120. ve 180. saniyeler arasındaki etkinlik oran hesaplamaları daha sık yapılmıştır (Şekil 5.13).

Deney sonuçlarından elde edilen ikinci bölgedeki parametrelerin belirlenen saniyelerde hesaplanan etkinlik değerleri Şekil 5.13'te görülmektedir.

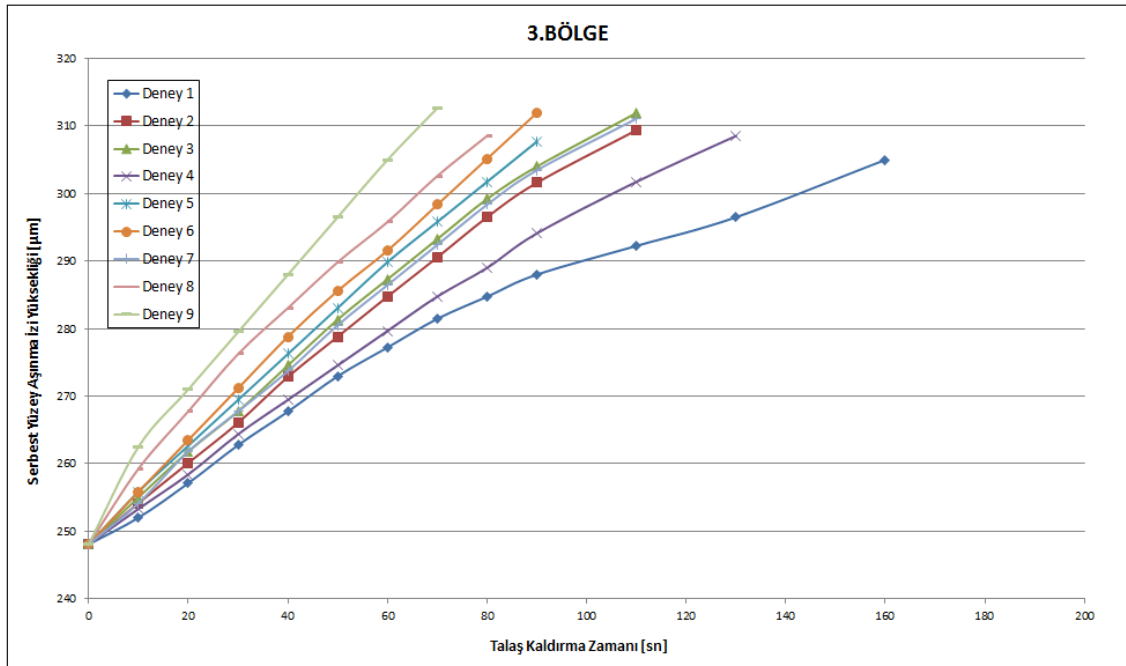


Şekil 5.13 İkinci bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri

Talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri ikinci aşınma bölgesi için incelendiğinde, ilerleme ve kesme hızının etkin olduğu görülmektedir. İkinci bölgede talaş kaldırma işlemi devam ederken ilerlemenin etkinliği bir miktar azalmakta ve kesme hızının etkinliği artmaktadır. Ancak işleme devam edildikçe ilerleme ve kesme hızının etkinlikleri artmakta ve ilerlemede daha fazla artış görüldüğünden ikinci bölgenin sonlarına doğru etkin parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin ise aşınma üzerine fazla etkinlik göstermediği belirlenmiştir.

5.4.3 Üçüncü Bölge Deney Sonuçları

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında, takım aşınma eğrisinin üçüncü bölgesindeki aşınma değerleri incelenmiştir. Üçüncü bölgedeki takım aşınmasının incelenebilmesi için, ikinci bölge bitimi kabul edilen kesici takımların serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerlerine talaş kaldırılarak getirilmiş ve böylelikle üçüncü bölge deneyleri için başlangıç aşınma değerleri eşitlenmiştir. Taguchi'nin L_9 ortogonal dizisine göre deneyler gerçekleştirilmiş ve belirli aralıklarla takım aşınma değerleri ölçülmüştür. Şekil 5.14'te üçüncü bölgedeki takım aşınma değerleri görülmektedir.



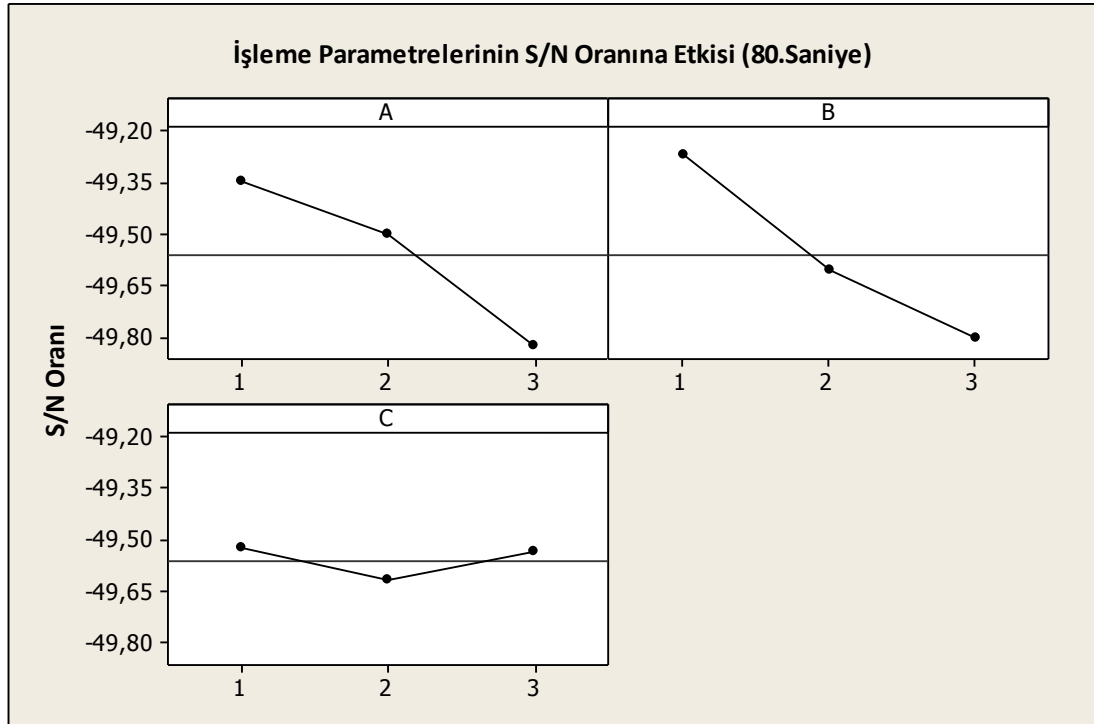
Şekil 5.14 Üçüncü bölge takım aşınma değerleri

Üçüncü bölge için yapılan deneyler sonucunda 80. saniye için ölçülen takım aşınma değerleri kullanılarak S/N oranları bulunmuştur. Çizelge 5.15'te AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesi sonucunda takım aşınması değerleri üzerinde işlem parametrelerinin etkileri görülmektedir. Üçüncü bölgede her bir deney için 80. saniyede çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri Şekil 5.16'da görülmektedir.

Çizelge 5.9 Üçüncü bölge 80. saniyelerdeki takım aşınma değerleri ve S/N oranları

Deney No	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]	Serbest Yüzey Aşınma İzi Yüksekliği [μm]	S/N Oranı [dB]
1	150	0,1	1	284,72	-49,08
2	150	0,2	1,5	296,5	-49,44
3	150	0,3	2	299,2	-49,51
4	175	0,1	1,5	289	-49,21
5	175	0,2	2	301,75	-49,59
6	175	0,3	1	305,15	-49,69
7	200	0,1	2	298,35	-49,49
8	200	0,2	1	308,55	-49,78
9	200	0,3	1,5	323,7	-50,20

Üçüncü bölge için 80. saniyedeki talaş kaldırma parametrelerinin S/N oranları şekil 5.15'te görülmektedir.



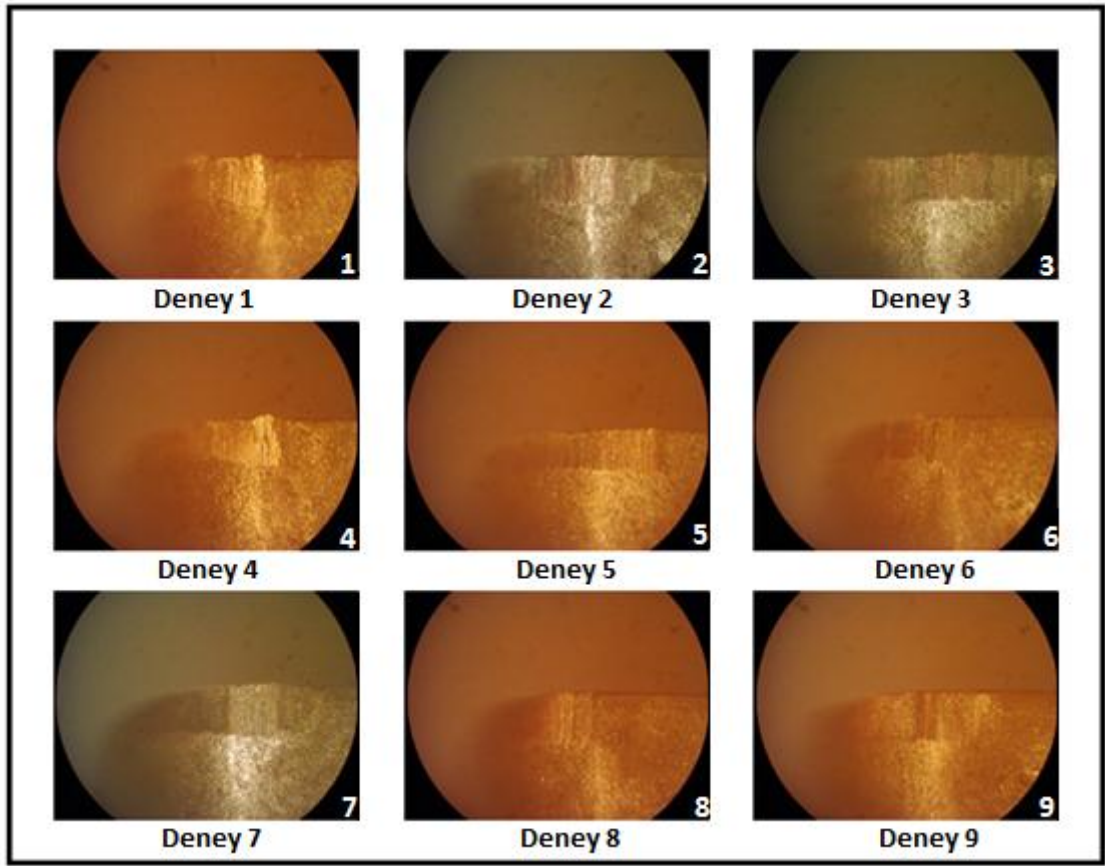
Şekil 5.15 Üçüncü bölgede 80. saniyedeki S/N oranları

Üçüncü bölgedeki en etkin parametrenin ilerleme olduğu bulunmuştur. Üçüncü bölge için AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde işlem parametrelerinin her bir seviyesine göre 80. saniyedeki takım aşınmasına ait S/N oranları Çizelge 5.16’da görülmektedir.

Çizelge 5.10 Üçüncü bölge 80. saniyedeki S/N oranları

	Kesme Hızı A,[m/dak]	İlerleme B,[mm/dev]	Kesme Derinliği C,[mm]
Seviye 1 (dB)	-49,35	-49,27	-49,52
Seviye 2 (dB)	-49,50	-49,61	-49,62
Seviye 3 (dB)	-49,83	-49,80	-49,54

Herhangi bir parametrenin optimum değeri, S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Şekil 5.15 ve Çizelge 5.16 incelendiğinde, deneyler sonucunda üçüncü bölgede serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerinin en az olması için optimum talaş kaldırma koşullarının A1B1C1 olduğu belirlenmiştir. Üçüncü bölgede 80. saniyedeki etkinlik değerleri; kesme hızı için 0.48, ilerleme için 0.54, kesme derinliği için 0.10 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre üçüncü bölgede ilerlemenin etkinliği, kesme hızının etkinliğine göre artış göstermiştir. Kesme derinliği ise diğer bölgelerde olduğu gibi üçüncü bölgede de fazla etkin olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.16 Üçüncü bölge 80. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri

Çizelge 5.17’de AISI 1040 çelik malzemesinin işlenmesinde takım aşınmasının üçüncü bölgesi için 80. saniyede yapılan ANOVA sonuçları görülmektedir.

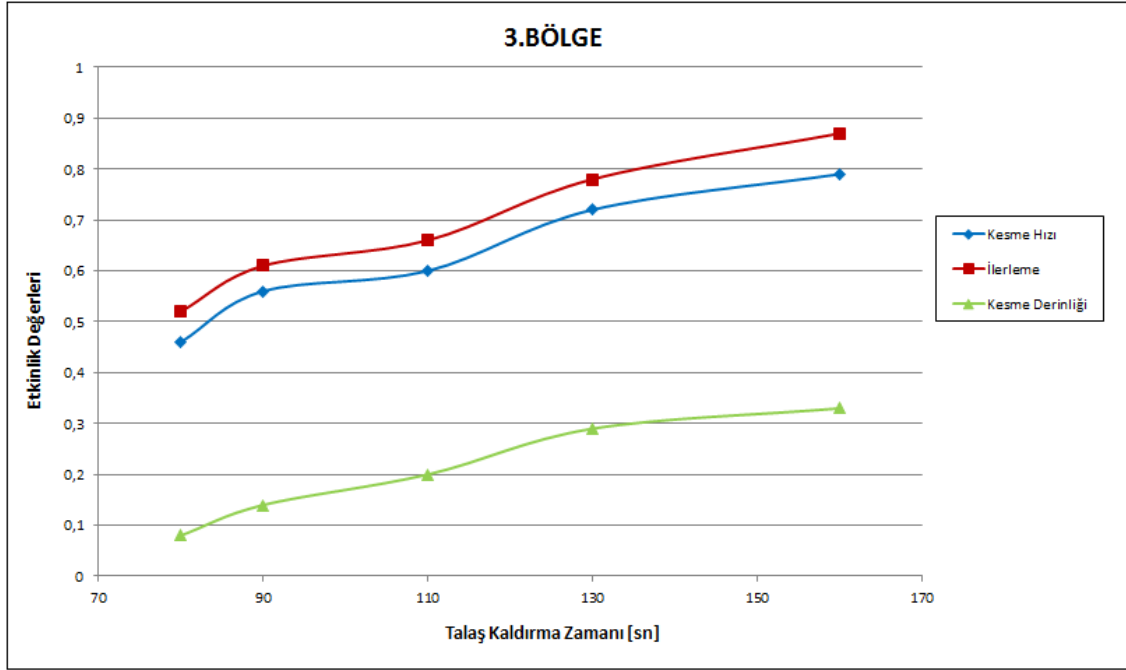
Çizelge 5.11 Üçüncü bölge 80. saniyedeki ANOVA sonuçları

İşleme Parametreleri	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler Toplamı	F Değeri	(%) Katkı Oranı
A	440,19	2	220,1	13,47	42,77
B	532,39	2	266,19	16,29	51,73
C	23,89	2	11,94	0,73	2,32
Hata	32,68	2	16,34	-	3,18
Toplam	1029,15	8	-	-	100

ANOVA sonuçları incelendiğinde, üçüncü bölgede, en etkin parametrenin ilerleme olduğu, kesme hızı ve ilerlemenin aşınma üzerinde etkili fakat kesme derinliğinin

etkinliğinin çok az olduğu görülmektedir. Üçüncü bölgede 80. saniye için Taguchi metodu ve ANOVA yöntemi kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

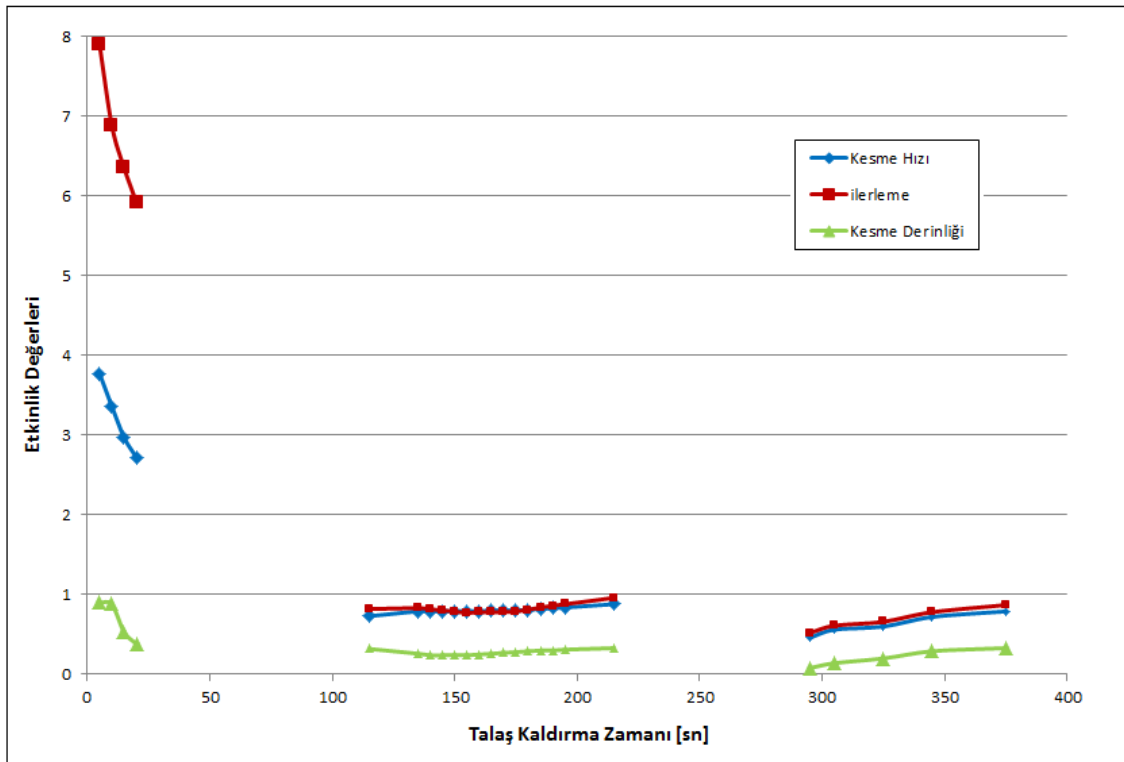
Üçüncü bölge için, 80. ve 160. saniyeler arasında belirli aralıklarla etkinlik değerleri bulunmuştur (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 Üçüncü bölgedeki talaş kaldırma parametrelerinin belirli saniyelerdeki etkinlik değerleri

Üçüncü aşınma bölgesi için talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri incelendiğinde, ilerleme ve kesme hızının etkin olduğu görülmektedir. Üçüncü bölgede, talaş kaldırma süresi arttıkça talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri artış göstermektedir. Kesme derinliğinin ise aşınma üzerine fazla etkinlik göstermediği ve bu bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

AISI 1040 çeliği için gerçekleştirilen deneylerden elde edilen takım aşınma bölgelerindeki talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri Şekil 5.18’de görülmektedir. Etkinlik değerleri bölgelerdeki belirli saniyeler için bulunmuştur. Bu nedenle diğer saniyelerde Taguchi metodu kullanılarak etkinlik oranları bulunmadığı için oluşan grafikte aralıklar meydana gelmiştir.



Seçilen talaş kaldırma parametrelerinde takım aşınma bölgelerindeki talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değeri incelendiğinde, her üç bölgede de ilerleme ve kesme hızının etkin olduğu, kesme derinliği etkinliğinin ise fazla olmadığı görölmüştür. Birinci bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu ve işlem sürtesi arttıkça, parametrelerin etkinlik değeri azaldığı görölmüştür. İkinci bölgede talaş kaldırma işlemi devam ederken ilerlemenin etkinliği bir miktar azalmakta ve kesme hızının etkinliği artmaktadır. Ancak işleme devam edildikçe ilerleme ve kesme hızının etkinlikleri artmakta ve ilerlemede daha fazla artış göröldüğünden ikinci bölgenin sonlarına doğru etkin parametrenin ilerleme olduğu görölmektedir. Üçüncü aşınma bölgesinde ise işleme süresi arttıkça talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değeri artış göstermektedir. Bu bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir. Etkinlik değeriinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her bölge için grafik dağılımlarının talaş kaldırma parametrelerinden bağımsız olacağı ancak talaş kaldırma parametrelerinin değiştirilmesiyle grafiklerin aralarının açılabilieceği ön görölmektedir.

5.4.4 Aşınma Bölgelerini ve Takım Ömrünü Arttırmayı Esas Alan Doğrulama Deneyleri

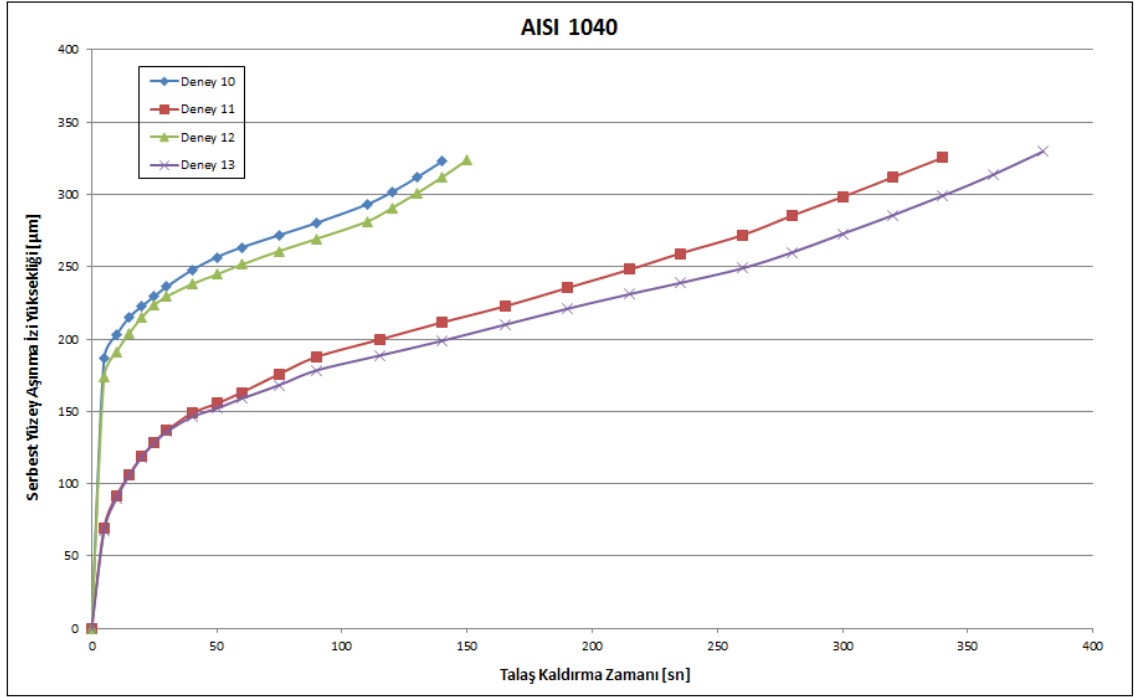
Yapılan deneyler sonucunda, AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında takım aşınma bölgelerindeki talaş kaldırma parametrelerinin etkinlik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak kesici takım ömrünün arttırılması amacıyla Çizelge 5.18’de verilen talaş kaldırma parametreleri kullanılarak AISI 1040 ve AISI 4140 çelik malzemeleri için aşınma bölgelerini esas alan doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.18 Doğrulama deneylerinde kullanılan talaş kaldırma parametreleri

Deney No	1.Bölge			2.Bölge			3.Bölge		
	A [m/dak]	B [mm/dev]	C [mm]	A [m/dak]	B [mm/dev]	C [mm]	A [m/dak]	B [mm/dev]	C [mm]
10	175	0,3	1,5	175	0,3	1,5	175	0,3	1,5
11	175	0,1	1,5	175	0,3	1,5	175	0,3	1,5
12	175	0,3	1,5	150	0,3	1,5	175	0,3	1,5
13	175	0,1	1,5	150	0,3	1,5	175	0,3	1,5

Deney 10 için parametre seviyeleri, her üç bölgede de aynı seçilerek belirli aralıklarla aşınma değerleri ölçülmüştür. Deney 11’de ise sadece birinci bölgedeki ilerleme azaltılarak diğer bölgelerdeki koşullar sabit tutulmuş böylelikle deneysel sonuçlardan elde edilen, birinci bölgedeki en etkin parametre olan ilerlemenin takım ömrüne olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney 12’de, birinci ve üçüncü bölgelerdeki kesme koşulları sabit tutulup, ikinci bölgedeki kesme hızı azaltılarak ikinci bölgedeki etkin parametre olan kesme hızının takım ömrüne olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney 13’te ise birinci bölgedeki ilerlemenin ve ikinci bölgedeki kesme hızının takım ömrüne etkisinin beraber incelenmesi için üçüncü bölgedeki talaş kaldırma koşulları sabit tutularak birinci bölgede ilerlemenin ve ikinci bölgedeki kesme hızının değerleri azaltılmıştır.

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında ölçülen serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerleri Şekil 5.19’da görülmektedir.

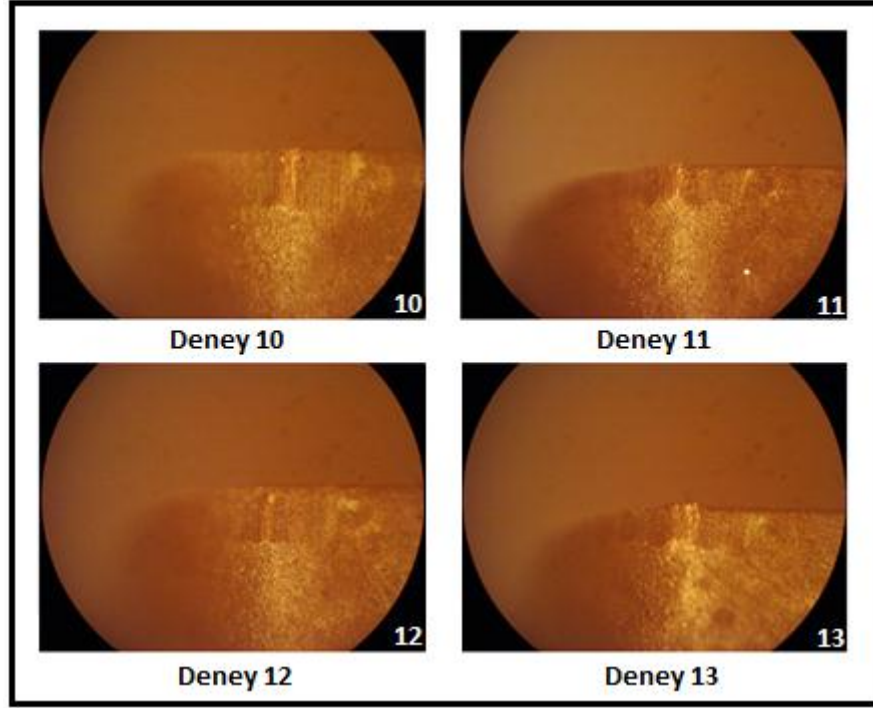


Şekil 5.19 AISI 1040 kesici takım aşınma grafiği

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, tornalama takımları için takım ömrü kriteri ISO 3685 standartlarında 0,3 mm'lik serbest yüzey aşınma izi yükseklik değeri baz alındığında, AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında birinci bölgedeki ilerlemenin düşük tutulmasıyla takım ömründe % 150 oranında, ikinci bölgedeki kesme hızının düşük tutulmasıyla takım ömründe % 8 oranında ve her ikisinin beraber yapıldığı koşulda takım ömründe % 183 oranında iyileştirme yapılmıştır.

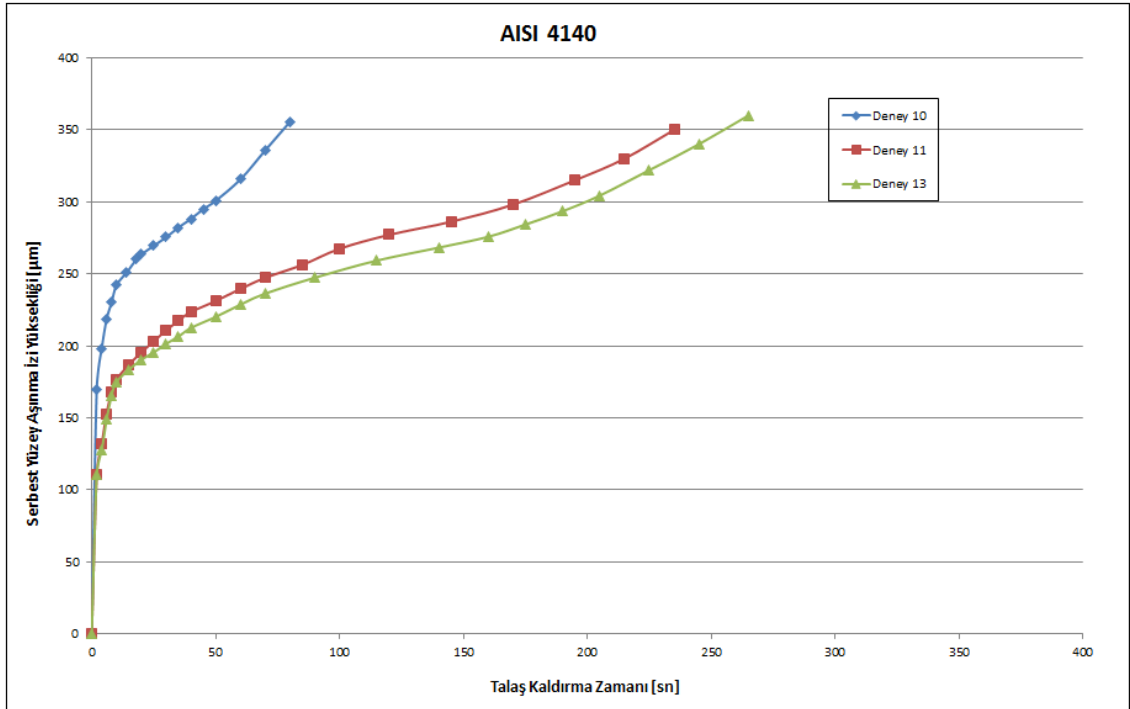
AISI 1040 çeliği için takım ömrüne etki eden parametreler bulunup, talaş kaldırma parametrelerinin aşınma bölgelerine göre değiştirilmesi ile takım ömrünün arttığı belirlendikten sonra AISI 4140 çeliğinde takım ömrünün arttırılması için Çizelge 5.16'da verilen 10,11 ve 13 numaralı deneyler yapılmıştır. Takım ömrüne olan katkısının oldukça az olduğu göz önünde bulundurularak Çizelge 5.18'de verilen 12 numaralı deney AISI 4140 çeliği için gerçekleştirilmemiştir.

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında 120. saniyede çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri Şekil 5.20'de görülmektedir.



Şekil 5.20 AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında 120. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri

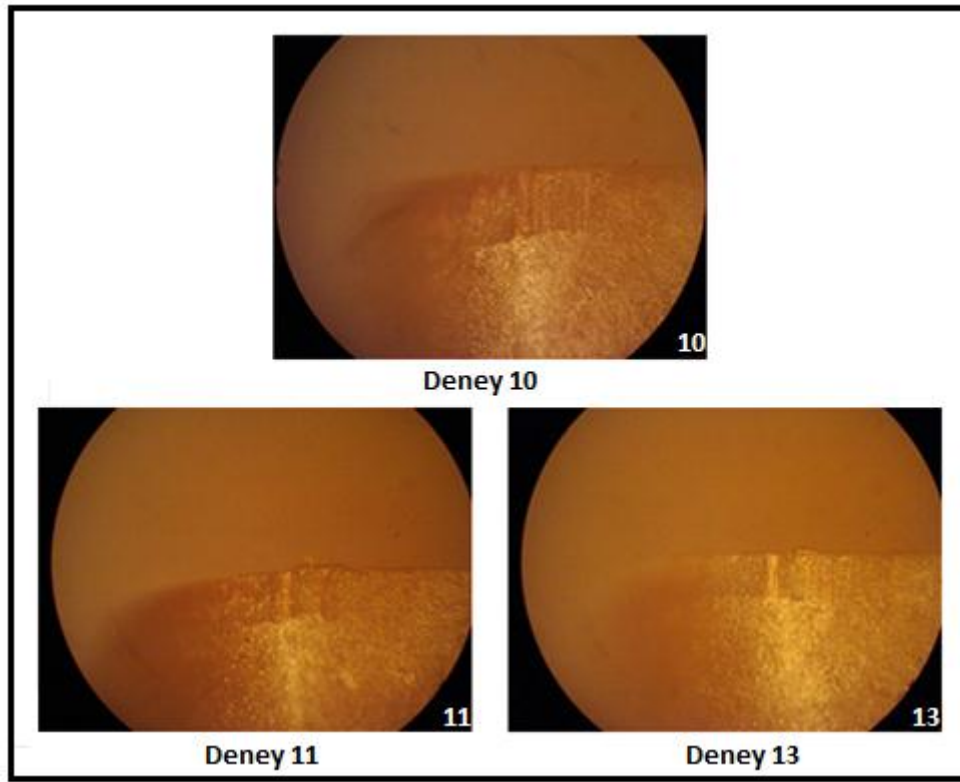
AISI 4140 çeliği için aşınma bölgelerini ve takım ömrünü arttırmayı esas alan doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen serbest yüzey aşınma izi yükseklik değerleri Şekil 5.21’de görülmektedir.



Şekil 5.21 AISI 4140 kesici takım aşınma grafiği

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, tornalama takımları için takım ömrü kriteri ISO 3685 standartlarında 0,3 mm'lik serbest yüzey aşınma izi yükseklik değeri baz alındığında, AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında, birinci bölgedeki ilerlemenin düşük tutulmasıyla takım ömründe % 240 oranında, birinci bölgedeki ilerlemenin ve ikinci bölgedeki kesme hızının düşük tutulmasıyla takım ömründe % 300 oranında iyileştirme yapılmıştır.

AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında 50. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri Şekil 5.22'de görülmektedir.



Şekil 5.22 AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında 50. saniyelerde çekilen serbest yüzey aşınma görüntüleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1040 çelik malzemenin tungsten karbür kesici takım ile tornalanmasında talaş kaldırma parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği), ömür-aşınma grafiğindeki üç bölge için takım aşınmasına olan etkileri seçilen bir çalışma bölgesi için incelenmiştir. Kesici takım katalogları ve literatür incelenerek, kesme hızları (150, 175, 200 m/dak), ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) ve kesme derinliği değerleri de (1, 1.5, 2 mm) olarak seçilmiştir. Aşınma bölgelerindeki etkinlik oranları, Taguchi metodu kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar ANOVA yöntemi ile analiz edilerek Taguchi metodu ile elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda; birinci bölgede en etkin parametrenin ilerleme olduğu, takım aşınmasının ilerlemenin artmasıyla artış gösterdiği gözlenmiştir. İlerlemenin bu bölgede etkinliğinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Kesme derinliğinin ise takım aşınması üzerine etkisinin az olduğu bulunmuştur. Bu bölgede, parametrelerin etkinlik oranlarının diğer bölgelere göre fazla olduğu belirlenmiştir. İkinci bölgede, kesme hızının ve ilerlemenin etkinlik oranlarının birbirine çok yakın olduğu ve her iki parametrenin de bu bölgede etkin çıktığı, kesme derinliği etkinliğinin ise az olduğu görülmüştür. İkinci bölgede talaş kaldırma işlemi devam ederken ilerlemenin etkinliği bir miktar azalmakta ve kesme hızının etkinliği artmaktadır. Ancak işleme devam edildikçe ilerleme ve kesme hızının etkinlikleri artmakta ve ilerlemede daha fazla artış görüldüğünden ikinci bölgenin sonlarına doğru etkin parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir. Üçüncü bölgede, en etkin parametrenin ilerleme olduğu bulunmuştur. Bu bölgede, talaş kaldırma süresi arttıkça talaş kaldırma

parametrelerinin etkinlik değerleri artış göstermekte ve kesme hızı ile ilerlemenin takım aşınması üzerine etkili olduğu, kesme derinliğinin etkisinin ise az olduğu görölmüştür.

Elde edilen deneysel verilerden, Taguchi metodu uygulanarak L_9 ortogonal dizisi yardımıyla S/N oranları hesaplanmış ve bölgelerdeki optimum talaş kaldırma parametreleri bulunmuştur. Her üç bölgede de minimum takım aşınması için optimum talaş kaldırma parametreleri; kesme hızı için 150 m/dak, ilerleme için 0.1 mm/dev ve kesme derinliği için 1 mm olarak bulunmuştur. Takım aşınması üzerine etkinlik değerleri birinci bölge 15. saniyede; kesme hızı için 2.97, ilerleme için 6.35, kesme derinliği için 0.53 olarak, ikinci bölge 140. saniyede; kesme hızı için 0.79, ilerleme için 0.77, kesme derinliği için 0.24 olarak ve üçüncü bölge 80. saniyede; kesme hızı için 0.48, ilerleme için 0.54, kesme derinliği için 0.10 olarak bulunmuştur.

Ayrıca ANOVA analizi uygulanarak, bölgelerdeki talaş kaldırma parametrelerinin takım aşınması üzerindeki katkı oranları bulunmuştur. Katkı oranları, birinci bölge 15. saniyede; kesme hızı için % 18.6, ilerleme için % 79, kesme derinliği için % 1.3 olarak, ikinci bölge 140. saniyede; kesme hızı için % 46.7, ilerleme için % 41.4, kesme derinliği için % 3.6 olarak ve üçüncü bölge 80. saniyede; kesme hızı için % 42.7, ilerleme için % 51.7, kesme derinliği için % 2.3 olarak bulunmuştur.

Uygulamadaki düşük kesme hızı ve ilerleme değerleri işlem süresini arttırdığından tercih edilmemekte ve takım aşınmasının fazla olması pahasına kesme hızı ve/veya ilerleme yüksek değerlerde seçilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda her aşınma bölgesi için kesici takım aşınmasına etki eden parametrelerin etkinlik değerleri belirlenmiş olup ayrıca bu etkinlik değerleri göz önünde bulundurularak aşınma bölgelerindeki kesme parametrelerinin değiştirilmesiyle takım ömrünün artırılmasında başarı sağlanmıştır.

Sonuç olarak; seçilen deneysel çalışma bölgesinde AISI 1040 çelik malzemenin tornalanmasında, birinci bölgedeki ilerlemenin düşük tutulmasıyla takım ömründe 1.5 kat, ikinci bölgedeki kesme hızının düşük tutulmasıyla takım ömründe 0.08 kat ve her ikisinin beraber yapıldığı koşulda takım ömründe 1.83 kat iyileştirme elde edilmiştir. AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında, birinci bölgedeki ilerlemenin düşük tutulmasıyla

takım ömründe 2.4 kat, birinci bölgedeki ilerlemenin ve ikinci bölgedeki kesme hızının düşük tutulmasıyla takım ömründe 3 kat iyileştirme elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Balazinski, M. and Ennajimi, E., (1984). "Influence of Feed Variation on Tool Wear when Milling Stainless Steel 17-4 Ph", *Journal of Engineering for Industry*, 116:516–520.
- [2] Soderberg, S. and Hogmark, S., (1986). "Wear Mechanisms and Tool Life of High Speed Steels Related to Microstructure", *Wear*, 110:315-329.
- [3] Mondalski K., "Study of Influence of Feed Variations on Tool Wear", *Journal of Engineering for Industry*, 43:115–122.
- [4] Lim, S.C., Liu, Y.B., Lee, S.H. and Seah, K.E., (1993). "Mapping The Wear of Some Cutting Tool Materials", *Wear*, 162-164,971-974.
- [5] Lim, S.C., Lim, and C.Y.H., (2001). "Effective Use of Coated Tools The Wear-Map Approach", *Surface and Coating Technology*, 139:127-134.
- [6] Arsecularatne, J.A., Fowle, R.F., Mathew, P. and Oxley, P.B.L., (1996). "Prediction of Tool Life in Oblique Machining with Nose Radius Tools", *Wear*, 198:220-228.
- [7] Chouldhury, I.A. and El-Baradie, M.A., (1998). "Machining Nickel Base Superalloys: Inconel 718", *Proc Instn Mech Engrs*, 212:195-205.
- [8] Gu, J., Barber, G., Tung, S. and Gu, R.J., (1999). "Tool Llife and Wear Mechanism of Uncoated and Coated Milling Inserts", *Wear*, 229:273-284.
- [9] Luo, S.Y., Liao, Y.S. and Tsai, Y.Y., (1999). "Wear Characteristics in Turning High Hardness Alloy Steel By Ceramic and CBN Tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 88:114-121.
- [10] Choundhury, S.K. and Appa Rao, I.V.K., (1999). "Optimization of Cutting Parameters for Maximizing Tool Life", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39:343-353
- [11] Li, X.P., Ng, H.H. and Lim, S.C., (1999). "A predictive mapping system for tool wear in metal cutting", *Journal of Materials Processing Technology*, 89:279-286.

- [12] Sarhan, A., Sayed, R., Nassr, A.A. and El-Zahry, R.M., (2001). "Interrelationships Between Cutting Force Variation and Tool Wear in End-Milling", *Journal of Materials Processing Technology*, 109:229-235.
- [13] Dolinsek, S., Sustarsic, B. and Kopac J., (2001). "Wear Mechanisms of Cutting Tools in High-Speed Cutting Processes", *Wear*, 250:349-356.
- [14] Li, H., Wang, M. and Wang, Z.G., (2002). "High Speed Cutting Of Inconel 718 with Coated Carbide and Ceramic Inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, 129:127-130.
- [15] Endres, J.W. and Kountanya, R.K., (2002). "The Effects of Corner Radius and Edge Radius on Tool Flank Wear", *Journal of Manufacturing Processes*, 4(2):89-96.
- [16] Kwon, Y. and Fischer, G.W., (2002). "A Novel Approach to Quantifying Tool Wear and Tool Life Measurements for Optimal Tool Management", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(4):359-368.
- [17] Çiftçi, İ., (2004). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Kaplanmış Sementit KARBÜR Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması, *Teknoloji*, 7(3):489-495.
- [18] Nouaria, M., Gehin, D., Gomez, S. and Manaud, J.P., (2005). "Wear Behaviour of Cemented Carbide Tools in Dry Machining of Aluminium Alloy", *Wear*, 259:1117-1189.
- [19] Özbek, C., Haşçalık, A., Çaydas, U., Karaca, F. ve Ünal, E., (2006). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Tornalanması, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Üretim Bölümü, Elazığ.
- [20] Çevik, E., (2006). Tornalama İşleminde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [21] Singh, H. and Kumar, P., (2007). "Mathematical Models of Tool Life Surface Roughness for Turning Operation Through Response Surface Methodology", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 66:220-226.
- [22] Sayit, E., (2007). Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemeler İçin Sürekli Olmayan Kesme Şartlarında Takım Ömrü Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [23] Özdemir, K. ve Çakır, M.C., (2008). Kesme Parametrelerinin Başlangıç Aşınmasına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(2): 99-109.
- [24] Ulusoy, A., (2008). Orta Karbonlu ve Otomat Çeliklerinde Kesme Hızının İşlenebilirlik Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [25] Sahin, Y., (2008). "Comparasion of Tool Life Between Ceramic and Cubic Boron Nitride (CBN) Cutting Tools When Machining Hardened Steels", *Journal of Materials Processing Technology*, 209(7):3478-3489.

- [26] Motorcu, R.A., (2009). "Ç1050 ve Ç4140 Çeliklerinin Seramik Takımlarla İşlenmesinde Optimum Takım Ömrünü Sağlayan Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Takım Aşınmalarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(4):699-708.
- [27] Oral, A., Çakır, M.C., Budak, E. ve Ensarioğlu, C., (2010). "Tornalama İşlemlerinde Başlangıç Aşınmasının Azaltılması" 2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 01-02 Ekim 2010 Konya.
- [28] Oral, A., Çakır, M.C. ve Türkmen, T., (2012). "Tornalamada Değişken İlerlemenin Başlangıç Aşınmasına Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi" 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012 Ankara.
- [29] Oral, A., Çakır, M.C., Göktepe, M. ve Türkmen, T., (2013). "Tornalama İşlemlerinde Yeni Bir İşleme Stratejisi-Değişken İlerlemeli Tornalama" 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 07-09 Kasım 2013 Kuşadası.
- [30] Akkurt, M., (1985). Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi Cnc Takım Tezgâhları ve Üretim Otomasyonu, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [31] Özey, Ç., (2009). Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde İşleme Parametrelerinin Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [32] Kartal, M.S., (2000). Alaşımız Çeliklerin CNC Torna Tezgâhında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Taguchi Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Aydın, B., (2002). AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [34] Kalpakjian, S., (1991). Manufacturing Processes for Engineering Materials, Second Edition, USA.
- [35] Balcı, B., (2008). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [36] Şahin, Y., (2000). Talaş Kaldırma Prensipleri I, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [37] Mendi, F., (1999). Takım Tezgâhları Tasarımı, Gazi Kitapevi, Ankara.
- [38] Kandemir, K., (1998). Kesici Takım Malzemesi Olarak Kullanılan Seramikler, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [39] İşbilir, Ö., (2008). Talaş Kaldırmada Değişken Yükleminin Takım Ömrüne Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [40] Şahin, Y., (2001). Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [41] Şeker, H., (2010). Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemi İle Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- [42] Özdemir, K., (2008). İlk Aşınma Bölgesinde Takım Aşınmasını Etkileyen Parametrelerin DeneySEL Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [43] Kaya, K.A., (1992). Kesici Takımlarda Takım Ömrü Saptanmasında Yeni Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [44] Canıyılmaz, E., (2001). Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Örnek Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [45] Kayı, Y., (2006). Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [46] Şırvancı, M., (2002). Kalite için Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [47] Birinci, A., (1997). Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Ross, P.J., (1988). Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, Newyork.
- [49] Durmaz, S., (2008). Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [50] Kishawy, H.A., Dumitrescu, M. and Elbestawi, M.A., (2004). "Effect of Coolant Strategy on Tool Performance, Chip Morphology and Surface Quality During High-Speed Machining of A356 Aluminum Alloy" International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45(2):219-227.
- [51] Ramanujachar, K. and Subramanian, S.V., (1996). "Micromechanism of Tool Wear in Machining Free Cutting Steels", Wear, 197: 45-55.
- [52] Thoors, H., Chandrasekaran, H. and Olund, P., (1993). "Study of Some Active Wear Mechanisms in A Titanium-Based Cermet When Machining Steels", Wear, 162-164(1):1-11.
- [53] Novak, S., Sokovic, M., Navinsek, B., Komac, M. and Pracek, B., (1997). "On The Wear of TiN (PVD) Coated Cermet Cutting Tools", Vacuum, 48(2): 107-112.
- [54] Kendal, L.A., (1989). "Tool Wear and Tool Life", Metals Handbook-Machining Ninth Edition, ASM International, 16:37-47.
- [55] Lim, C.Y.H., Lau, P.P.T. and Lim, S.C., (2001). "Work Materials and Effectiveness of Coated Tools", Surface and Coating Technology, 146: 298-304.
- [56] Devries, W.R., (1992). Analysis of Material Removal Process, Springer Verlag, NewYork.

- [57] Boothroyd, G. and Knight, W.A., (2006). Fundamentals of Machining and Machine Tools, CRC Press, London.
- [58] Akkurt, M., (1998). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [59] Kannatey, E. and Asibu, (1985). “A Transport-Diffusion Equation in Metal Cutting and its Application to Analysis of the Rate of Flank Wear”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 107(1): 81-89.
- [60] Avuncan, G., (1998). Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makine Takım Endüstrisi A.Ş., İstanbul.
- [61] Gülmez, T., (2011), Talaş Kaldırmanın Teorisi, <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch21Talas%20Kaldirmanın%20Teorisi.pdf>, 05 Haziran 2014.
- [62] Industrial CryoTech, Flank Wear, <http://www.industrialcryotech.com/CSmedical.html>, 17 Haziran 2014.
- [63] Sandvik Coromant, Wear on Cutting Edges, http://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/materials/cutting_tool/materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx, 12 Haziran 2014.
- [64] Sandvik Coromant, Tool Wear, http://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/general_turning/troubleshooting-tool-wear/pages/default.aspx, 12 Haziran 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuz ÇALIŞKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 24.05.1989 İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : oguzcaliskan89@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Namık Kemal Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Samiha Ayverdi A.L.	2007