

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

**1.2738 ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE DEĞİŞKEN KESME  
HIZI VE DEĞİŞKEN İLERLEME YÖNTEMİNİN TAKIM  
ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Orkun Mustafa İŞLEYEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**İmal Usulleri Programı**

**Danışman**

**Prof. Dr. Erhan ALTAN**

**Temmuz, 2019**

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

**1.2738 ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE DEĞİŞKEN KESME  
HIZI VE DEĞİŞKEN İLERLEME YÖNTEMİNİN TAKIM ÖMRÜ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

Orkun Mustafa İŞLEYEN tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erhan ALTAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Erhan ALTAN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK, Üye

Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat KIYAK, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

---

---

---

Danışmanım Prof. Dr. Erhan ALTAN sorumluluğunda tarafımda hazırlanan 1.2738 Çeliğinin Frezelenmesinde Değişken Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Yönteminin Takım Ömrü Üzerine Etkisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Orkun Mustafa İŞLEYEN



*Aileme  
ve  
biricik eşime*

## TEŞEKKÜR

---

Tezimin yazım ve yayın sürecinde desteğini esirgemeyen aileme, gece gündüz demeden destek olmak ve yönlendirmek için uğraşan danışmanım Prof. Dr. Erhan ALTAN' a, deneyler esnasında birçok şey öğrendiğim asistan hocam Uęur EMİROğLU' na, yüksek lisans sürecimin tamamında bana yardımcı olan şirketime ve son olarak aldığım her kararda arkamda duran eşime teşekkür ederim.

Orkun Mustafa İŞLEYEN



# İÇİNDEKİLER

---

<b>SİMGE LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Giriş</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	15
1.3 Hipotez .....	16
<b>2 Kesici Takım Aşınması</b>	<b>17</b>
2.1 Takım Aşınması Oluşumu .....	17
2.2 Takım Aşınması Türleri .....	18
2.3 Takım Aşınmasının Ölçümü .....	27
2.4 Aşınma Mekanizmaları .....	28
2.5 Aşınmada Takım ve İş Parçası Malzemesinin Önemi .....	32
<b>3 Deneysel Çalışmalar</b>	<b>39</b>
3.1 Deney Malzemesi .....	39
3.2 Deneyde Kullanılan Takım ve Kesici Uç .....	41
3.3 Deneyde Kullanılan Tezgâh ve Cihazlar .....	42
3.4 Ön Deneyler .....	43
3.5 İlk Deneyler .....	44
3.6 İkinci Aşama Deneyler .....	53

<b>4 Sonuçlar ve öneriler</b>	<b>67</b>
<b>Kaynakça</b>	<b>68</b>
<b>Tezden retilmiř Yayınlar</b>	<b>69</b>



## SİMGE LİSTESİ

---

$v$	Aşınan hacim
$k_w$	Aşınma sabiti
$\theta$	Ayar açısı
$\alpha_{eff}$	Efektif talaş açısı
$f$	İlerleme
$L_s$	Kayma uzunluğu
$a_p$	Kesme derinliği
$b$	Kesme genişliği
$V_c$	Kesme Hızı
$V_{ct}$	Krater aşınması toplam hacmi
$K_F$	Krater bölgesinin genişliği
$K_T$	Krater derinliği
$\eta_{cr}$	Krater için özgül aşınma miktarı
$VB_{max}$	Maksimum serbest yüzey aşınması
$\alpha_0$	Nominal ayar açısı
$VB_{avg}$	Ortalama YN yüzey aşınması
$\eta$	Özgül aşınma miktarı
$\eta_f$	Serbest yüzey için özgül aşınma miktarı
$V_w$	Serbest yüzeyden aşınan malzeme hacmi
$N$	Sürtünme yüzeyine normal kuvvet
$H$	Takım sertliği
$L_c$	Takım-talaş temas uzunluğu
$A$	Temas yüzey alanı



# ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.1</b> $a=0,8$ $b=0,6$ $c=0,4$ $d=0$ [1].....	2
<b>Şekil 1.2</b> Farklı Matkapların Delik Sayısına Bağlı Çıkış Çapağı Yükseklikleri [1].....	3
<b>Şekil 1.3</b> Sinüsoidal ve Lineer Artışlı Değişken İlerlemenin Grafikselsel Gösterimi [2].....	4
<b>Şekil 1.4</b> Sabit ve Değişken İlerlemede Takım Aşınması [2].....	5
<b>Şekil 1.5</b> Talaş Kırılması Diyagramı [3] .....	6
<b>Şekil 1.6</b> İki Farklı İlerlemenin Değişiminin Grafikselsel Gösterimi [4] .....	8
<b>Şekil 1.7</b> Sabit İlerlemeler Arasındaki Krater Derinliği Farkı ve Değişken İlerleme ile Karşılaştırılması [4] .....	8
<b>Şekil 1.8</b> Değişken ve Sabit İlerleme Kullanımında Krater Biçimleri [5].....	9
<b>Şekil 1.9</b> İlerlemenin Değişimi [6] .....	11
<b>Şekil 1.10</b> İlerleme İçin Kullanılan Değişim Grafiği [7].....	12
<b>Şekil 1.11</b> Kesme Hızının Değişimini Gösteren Grafik [7].....	13
<b>Şekil 1.12</b> Çıkış Çapağı Yükseklikleri [7].....	13
<b>Şekil 1.13</b> Serbest Yüzey ve Krater Aşınması İçin Tahmin Edilen ve Gerçekleşen Değerler [8].....	15
<b>Şekil 2.1</b> Kesici Takım Aşınmaları; (a) Serbest (Yan) Yüzey Aşınması; (b) Krater Aşınması; (c) Çentik Aşınması; (d) Burun Radüsü Aşınması; (e) Dikine Termal Çatlaklar; (f) Paralel (Mekanik) Çatlaklar; (g) Talaş Yapışma Kenarı; (h) Kitlesele Plastik Deformasyon; (i) (Büyük Parçalar) Kenardan Dökülme; (j) Talaş Çekiçlemesi; (k) Kitlesele Kırılma [9].....	19
<b>Şekil 2.2</b> Serbest Yüzey Aşınmasının Talaş Kaldırma Süresine Bağlı Değişimi ve Sırasıyla Giriş Aşınması, İstikrarlı Aşınma ve Şiddetli Aşınma Bölgeleri [9].....	19
<b>Şekil 2.3</b> ISO 3685'e Göre Serbest Yüzey ve Talaş Yüzeyi Aşınması [9] .....	20
<b>Şekil 2.4</b> Nikel Alaşımı İşleyen Kaplamalı Karbür Bir Uçun Krater Aşınması [9] .....	20
<b>Şekil 2.5</b> Nikel Alaşımı İşleyen Bir Kaplamalı Karbür Uçun Çentik Aşınması [9].....	21
<b>Şekil 2.6</b> 390 Al Kalite Malzeme İşleminde Kullanılan Karbür Uçta Serbest Yüzey ve Burun Aşınması Birlikte [9] .....	22
<b>Şekil 2.7</b> Nikel Alaşımılı Malzemenin Talaşlı İşlenmesinde Kullanılan Karbür Kaplamalı Uçta Burun Radüs Aşınması [9] .....	22
<b>Şekil 2.8</b> Yüksek Grafitli Çelik Malzemede Kullanılan Kaplamalı Uçlarda Termal Çatlaklar (Sulu Kesme) [9].....	23
<b>Şekil 2.9</b> Kaplamalı Uçlarda Termal Çatlaklar (Susuz Kesme) [9] .....	23
<b>Şekil 2.10</b> Alüminyum İşlenmesinde Kullanılan Polikristalin Elmas Uçta Yığılma Ağzı [9].....	24

<b>Şekil 2.11</b> Nikel Alaşımı İşleyen Karbür Bir Uçta Oluşan Plastik Deformasyon [9] .....	24
<b>Şekil 2.12</b> Sert Çeliğin İşlenmesinde Kullanılan CBN Uçta Oluşan Kenar Kırılması [9] .....	25
<b>Şekil 2.13</b> Nikel Alaşımı İşlemede Kullanılan Kaplamalı Karbür Uçta Oluşan Talaş Çekişmesi [9] .....	26
<b>Şekil 2.14</b> Sert Çeliklerin İşlenmesinde Kullanılan CBN Uçta Oluşan Kırılma [9] .....	26
<b>Şekil 2.15</b> Sinterlenmiş Karbürler ve Seramik Takımlar İçin Sertlik Sıcaklık İlişkisi [9] .....	30
<b>Şekil 2.16</b> Nikel Alaşımı İşleyen Bir Takımda Kaplama Aşınması [9] .....	31
<b>Şekil 2.17</b> a)1045 Çeliği İşlenmesinde Farklı Kaplamalar Kullanılarak Üretilmiş Sinterlenmiş Karbür Uçların Gri Dökme Demirde Kesme Hızına Bağlı Takım Ömürleri b) 1045 Çeliği İşlenmesinde Farklı Kaplamalar Kullanılarak Üretilmiş Sinterlenmiş Karbür Uçların Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kesme Hızına Bağlı Takım Ömürleri [9] .....	34
<b>Şekil 3.1</b> Deneylerde Kullanılan 1.2738 Çelik Malzemenin Geometrik Özellikleri .....	40
<b>Şekil 3.2</b> SPHN 120408 .....	41
<b>Şekil 3.3</b> Deneylerde Kullanılan Takım Gövdesi .....	42
<b>Şekil 3.4</b> FIRST MCV-300 ve Deney Düzeneği .....	42
<b>Şekil 3.5</b> SOIF Mikroskop ve OLYMPUS RX10 Mikrometre .....	43
<b>Şekil 3.6</b> V <sub>c</sub> =150 m/dak, f=0,3 mm/dev, a <sub>p</sub> =2 mm Şartlarında Elde Edilen Takım Aşınması .....	44
<b>Şekil 3.7</b> İlerlemenin Değişim Grafiği .....	45
<b>Şekil 3.8</b> Frekans, Periyot ve Genlik Kavramları .....	45
<b>Şekil 3.9</b> Sabit İlerleme ve Değişken Kesme Hızlarında Takım Aşınması .....	48
<b>Şekil 3.10</b> Sabit Kesme Hızı, (V <sub>c</sub> =150 m/dak) Değişken İlerlemede Takım Aşınması ve Sabit Kesme Hızı, Sabit İlerlemede Takım Aşınması .....	49
<b>Şekil 3.11</b> Sırasıyla Sabit ve Değişken İlerleme Aşınma Görüntüleri .....	50
<b>Şekil 3.12</b> Deney Fotoğrafları, a)4 Nolu Deney, 280 mm Kesme Boyu, Aşınma=190µm, b)2 Nolu Deney, 280 mm Kesme Boyu, Aşınma=155µm, c)4 nolu deney, 480 mm Kesme Boyu, Aşınma=250µm, d)2 Nolu Deney, 480 mm Aşınma=225 µm, e)4 Nolu Deney, 680 mm Aşınma=300µm, f)3 Nolu Deney, 680 mm Aşınma=223 µm .....	51
<b>Şekil 3.13</b> Elde Edilen En Az Takım Aşınmasını Veren Değişken ve Sabit Kesme Parametrelili Aşınma Eğrileri .....	52
<b>Şekil 3.14</b> Kesme Hızı 160-170 m/dak Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri .....	56
<b>Şekil 3.15</b> Kesme Hızı 150-170 m/dak Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri .....	57

<b>Şekil 3.16</b> Kesme Hızı 140-170 m/dak Genliği İle Yapılan Deneilerin Aşınma Grafikleri.....	57
<b>Şekil 3.17</b> İlerleme 0,28-0,33 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneilerin Aşınma Grafikleri.....	58
<b>Şekil 3.18</b> İlerleme 0,25-0,35 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneilerin Aşınma Grafikleri.....	59
<b>Şekil 3.19</b> İlerleme 0,23-0,38 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneilerin Aşınma Grafikleri.....	59
<b>Şekil 3.20</b> Periyot 22 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği .....	60
<b>Şekil 3.21</b> Periyot 44 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği .....	61
<b>Şekil 3.22</b> Periyot 66 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği .....	61
<b>Şekil 3.23</b> Birinci ve İkinci Set Deneilerdeki En İyi Sonuçlar .....	62
<b>Şekil 3.24</b> Farklı Periyotlardaki Aşınma Değerlerinin Talaş Hacmine Göre Değişimi; a)22 mm periyot, b)44 mm periyot, c)66 mm periyot .....	65
<b>Şekil 3.25</b> Frekans Değişimine Göre Takım Ömürleri; a)22 mm periyot, b)44 mm periyot, c)66 mm periyot .....	66

## TABLO LİSTESİ

---

<b>Tablo 3.1</b> İş Parçası Malzeme İç Yapı Özellikleri .....	40
<b>Tablo 3.2</b> 1.2738 Malzeme İçin Genel İşleme Parametreleri [10].....	41
<b>Tablo 3.3</b> İlk Deney Parametreleri .....	43
<b>Tablo 3.4</b> Değişken Kesme Hızı ile Yapılan Deneylerin Parametreleri .....	47
<b>Tablo 3.5</b> Değişken İlerleme ile Yapılan Deneylerin Parametreleri .....	49
<b>Tablo 3.6</b> İlk Aşama Deneylerin Frekans Değerleri .....	53
<b>Tablo 3.7</b> İkinci Aşama Deney Parametreleri .....	54
<b>Tablo 3.8</b> Deney Matrisi .....	55
<b>Tablo 3.9</b> Deneylerin İkinci Bölümü İçin Çalışma Sonuçları.....	64

## **1.2738 Çeliğinin Frezelenmesinde Değişken Kesme Hızı ve Değişken İlerleme Yönteminin Takım Ömrü Üzerine Etkisi**

Orkun Mustafa İŞLEYEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Modern talaşlı imalat işlemlerinde, talaş kaldırma prosesleri geçmişten günümüze karşılaşılan problemleri ile araştırmacı ve uygulamacılar için büyük bir çalışma alanı olmuştur. İmalatı daha verimli hale getirebilecek daha hızlı işleme yöntemleri ile daha iyi bir üretim kalitesi yakalayabilmek için yapılan araştırmalar neticesinde imalat teknolojisi zamanla sürekli gelişen bir hal almıştır.

Talaş kaldırma işleminin kalitesini belirleyen önemli faktörler takım, takım tezgâhı, kesme parametreleri ve iş parçası malzemesidir. Frezeleme işleminde, üretim kalitesini, verimliliği ve işlemin ekonomik olma durumunu doğrudan etkilediği için değişken ilerleme ve değişken kesme hızına bağlı takımın aşınması incelenmiştir.

Bu tezde, değişken parametrelerle 1.2738 çeliğinin frezeleme işleminde takım aşınması incelenmiştir. İlerleme ve kesme hızı parametreleri talaş kaldırma esnasında değiştirilerek yöntemin takım ömrü ve aşınma üzerine olan etkileri gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda frekans ve genlik değişiminin takım aşınması üzerinde etkili olduğu görülmüş, değişken kesme parametreleri kullanımının takım ömrü üzerinde iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Değişken ilerleme, kesme hızı, takım aşınması



---

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## **Influence of Variable Cutting Speed and Variable Feed on Tool Wear When Milling of 1.2738 Steel**

Orkun Mustafa İŞLEYEN

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Chip removal processes are big field of study for researchers in modern metal cutting applications from past to present. Manufacturing technology has evolved over time as a result of researches to achieve better production quality with faster process methods that can make production more efficient.

Important factors that determine the quality of chip removal processes are tool, cutting parameters and work piece material. In milling, tool wear due to variable feed and variable cutting speed has been investigated since it directly affects production quality, efficiency and economic status of the process.

In this study, tool wear investigated with variable parameters in milling of 1.2738 steel. The effects of this method investigated on tool wear and tool life with alteration of feed and cutting speed during chip removal processes.

As a result of the study, it was found that frequency and amplitude change had an effect on tool wear and it was proved that using of variable cutting parameters gave good results

on tool life.

**Keywords:** Variable feed, cutting speed, tool wear



---

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES



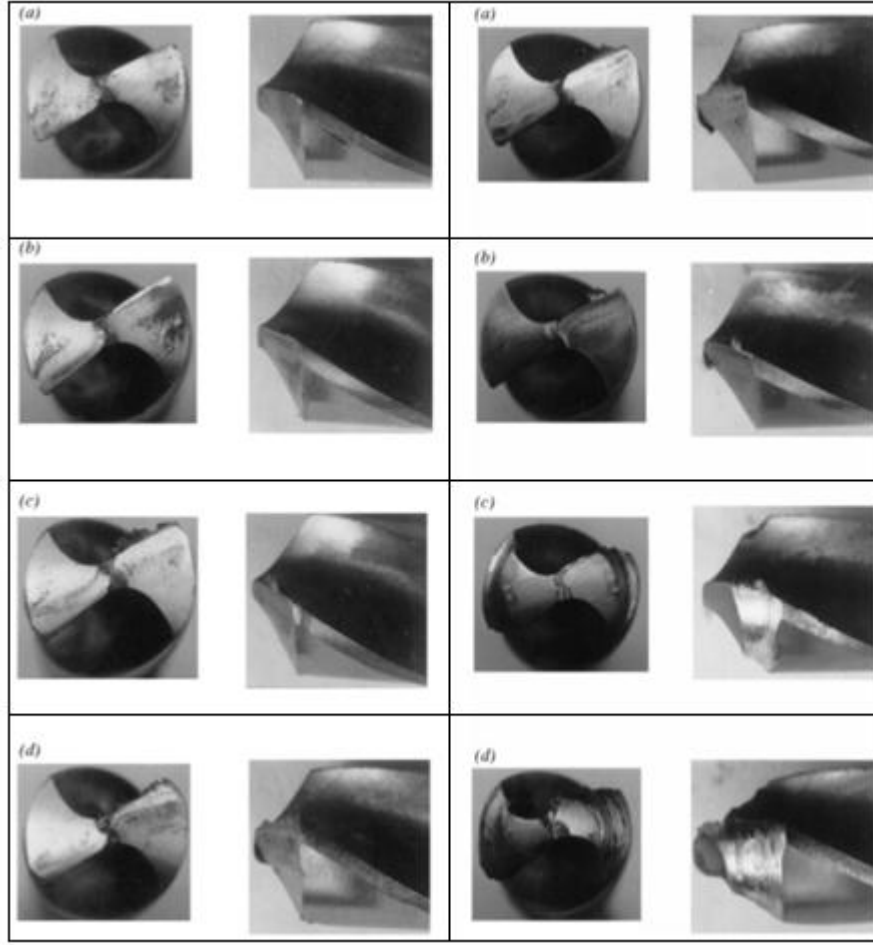
### 1.1 Literatür Özeti

Değişken parametrelerin kullanıldığı çalışmalarda çıkış çapağı, aşınma, takım ömrü, talaşın kırılması, takımın güvenilirliği gibi birçok değişken incelenmiş ve çeşitli sonuçlar ortaya çıkmıştır. Takım ömrü ve aşınma üzerine yapılan incelenmiş çalışmaların tamamı değişken parametrelerin kullanımının takım ömrünü arttırıcı, aşınmayı ise azaltıcı yönde etki yaptığını söylemişlerdir.

T.R Lin ve R.F. Shyu'nun Taiwan'da yaptığı çalışmada [1], değişken ilerlemenin matkap çıkış çapağı ve takım ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada malzeme olarak östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır ve ölçüleri 100x150x15 mm'dir. Araştırmacılar bu çalışmada TiN kaplamalı matkapların aşınma konusundaki başarısının doğruluğunu teyit etmek, hem de matkabin çıkarken oluşturduğu çıkış çapağı üzerinde değişken ilerlemenin etkisini incelemek amacıyla 4 farklı kaplamalı matkap kullanmışlardır. Bu matkaplar TiN, TiCN, CrN, TiAlN kaplamalıdır. Her 5 delikten sonra takım çıkarılıp aşınma boyu ölçülmüş ve takımın davranışı kayıt altına alınmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmıştır. İlerleme takımın kestiği süre boyunca Denklem 1.1'e göre değiştirilmiştir.

$$f(x)=f_c.[1+a.\sin(\frac{2.\pi.x}{L} + \frac{3.\pi}{2})] \quad (1.1)$$

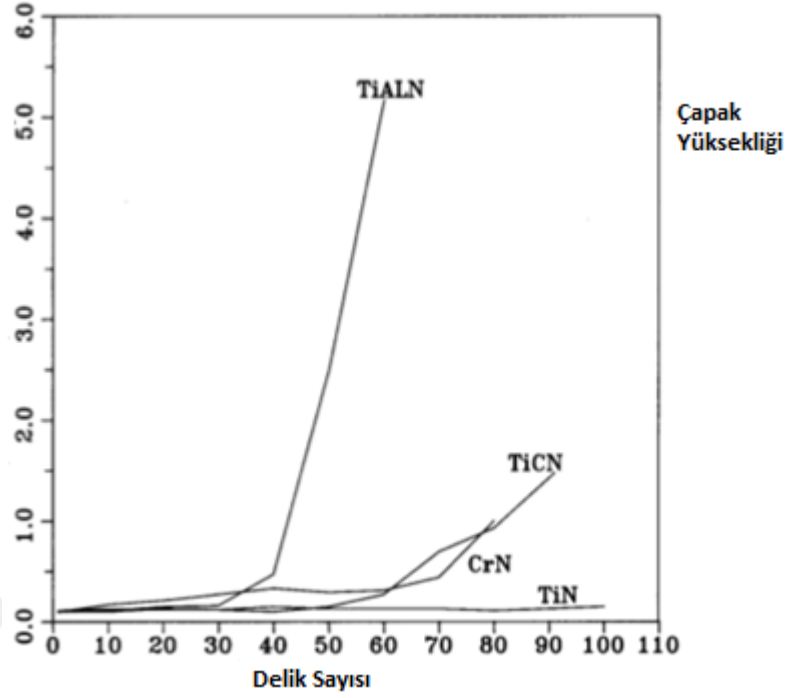
Bu denklemde L, iş parçası kalınlığı,  $f_c$ , sabit ilerleme(0,1mm/dev), x, matkabin anlık gittiği yol, a, denklem sabitidir. Bu denkleme göre matkap ilerlediği yola bağlı olarak tezgâha ilerleme değeri atamaktadır. 'a' sabiti değiştirilerek ilerlemenin artımı değiştirilmiştir. Sabit değer 'a'nın değişimine göre çıkış çapağının boyları ve takım ömürleri karşılaştırılmıştır. Delik adetlerine göre 4 farklı matkabin hangi delikte ne kadar çıkış çapağı bıraktığı değerlendirilmiştir. Her bir a değeri için 40.delikte TiN kaplamalı takımın önden ve yandan fotoğrafları Şekil 1.1'de görülmektedir.



**Şekil 1.1**  $a=0,8$   $b=0,6$   $c=0,4$   $d=0$  [1]

Çalışmalarındaki tüm matkaplar  $\text{Ø}8$  mm ve  $V_c = 25,2$  m/dak tüm takımlarda sabittir. TiN kaplı matkapların doğası gereği ısıyı iş parçasına değil talaşa doğru yönlendirmektedir.

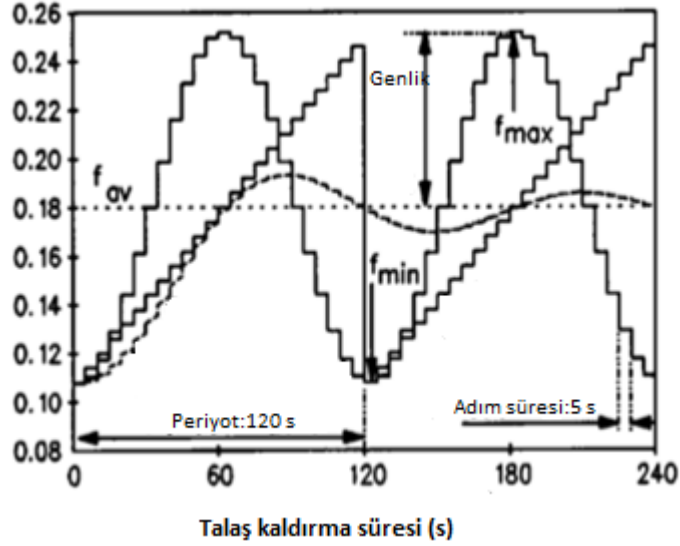
Yine delik sayısına ve çıkış çapağı yüksekliğine bağlı olarak oluşturdukları grafik Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2 Farklı Matkapların Delik Sayısına Bağlı Çıkış Çapağı Yükseklikleri [1]

Sonuç olarak bu çalışmada değişken ilerlemenin çıkış çapağı ve takım ömrünü önemli ölçüde iyileştirdiğini,  $a=0,6$ 'da maksimum takım ömrü ve minimum çıkış çapağı oluştuğunu, paslanmaz malzemenin işlenmesinde TiN ve TiCN takımların CrN ve TiAlN kaplamalı olanlara göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini, kesici kenar dışının aşınmasının matkap aşınmasında temel sebep olduğunu, uzun bukle şeklinde talaş çıktığında takımın daha hızlı aşındığını ortaya koymuşlardır.

Balazinski literatürde süper alaşım olarak geçen Inconel 600 tipi malzeme üzerinde değişken ilerlemenin takım ömrüne etkisini incelemiştir [2]. Bu çalışmada optimum ilerlemedeki %10'luk bir değişken ilerleme çevrimi 5 saniyelik artımlarla takım ömrünü %30 artırmıştır. Çalışmada sabit talaş kaldırma hacmini temel alarak farklı değişken ilerleme modelleri üzerinde durmuştur. Bunlardan ilki Şekil 1.3'te verilen sinüsoidal (artan-azalan) bir ilerleme biçimi, diğeri ise artırılmış lineer fonksiyona bağlı olan bir ilerleme biçimidir.



**Şekil 1.3** Sinüsoidal ve Lineer Artışlı Değişken İlerlemenin Grafıksel Gösterimi [2]

Sabit talaş kaldırma hacmini korumak amacıyla, diş başına optimum sabit ilerleme  $f_{av}$  ve belirtilen sürede verilen ilerleme  $f_i$ 'yi içeren Denklem 1.2'yi kullanmıştır.

$$f_{av} = \frac{1}{n.m} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n f_i \quad (1.2)$$

bu denklemde  $n$ , bir periyottaki adımların sayısı,  $m$  ise verilen süredeki periyot sayısıdır. Her adımdaki toplam ilerleme ortalaması, mukayese edilen zamandaki optimum ilerlemeye eşit olmalıdır. Dolayısıyla bu da bir önceki çalışmadaki ilerleme denklemine benzer Denklem 1.3 ve Denklem 1.4'ü ortaya çıkarmıştır.

$$f_l(t) = f_{av} [1 + a \cdot (2 \cdot [\frac{t}{p} - E \cdot \frac{t}{p}] - 1)] \quad (1.3)$$

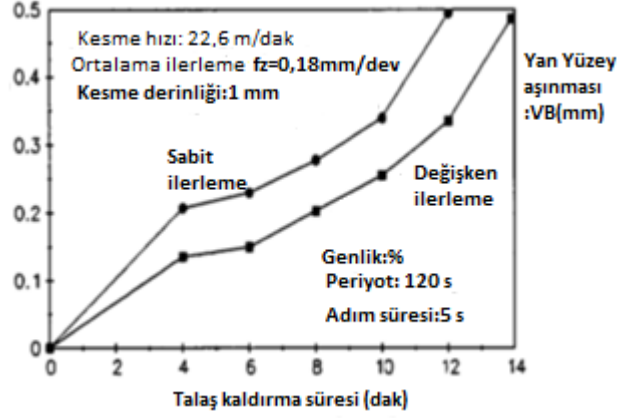
$$f_s(t) = f_{av} [1 + a \cdot \sin(2\pi \cdot \frac{t}{p} + \frac{3\pi}{2})] \quad (1.4)$$

Bu denklemlerde  $E$ , katsayı fonksiyonu,  $P$ , periyot,  $a$ , genlik,  $t$ , kesme süresidir (adım süresine bağlı).

Çalışmada 4 farklı parametre incelenmiştir.

- Genlik( $a$ )
- Periyot
- Adım Süresi
- Varyasyon Fonksiyonu

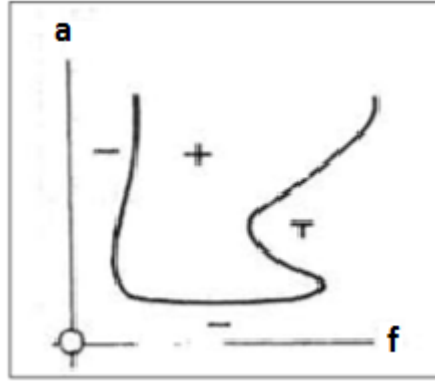
Ayrıca bu deneyler esnasında kesme hızı ve kesme derinliği sabit tutulmuştur. Çalışmanın bir kısmı yapıldıktan sonra serbest yüzey aşınmasının krater aşınmasından çok daha ön planda olduğu görülmüştür.



Şekil 1.4 Sabit ve Değişken İlerlemede Takım Aşınması [2]

Takım olarak SPKN 1203 EDR (karbür M40) kesici uç bağlayabildiği Ø80 tarama kafası kullanmıştır. İşleme yöntemi frezelemedir.  $V_c=22,6$  m/dak, kesme derinliği ise 1 mm olarak alınmıştır. Tüm deneylerde kullandığı ilerleme aralığı 0,1-0,25 mm/dev'dir. Serbest yüzey aşınmaları 10 adet kesici uç aşınmasının ortalaması olarak alınmıştır ve bu çalışmada da aşınma sınırı  $VB=0,3$  mm olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak değerlendirilen 5 farklı parametreden en etkili faktörün genlik, ondan sonrakinin adım süresi olduğu ortaya çıkmıştır. Periyotun takım ömrü üzerinde az bir etkisi vardır, ancak diğer faktörlerle olan etkileşimi sebebiyle ihmal edilemez bir parametredir. Adım süresi arttıkça takım ömrü azalmıştır. Her ölçümden sonra kesici uç değiştirilmiş ve tekrar bağlanmıştır.  $VB=0,3$  mm sınır kabul edilerek sabit ilerlemede çalışma yapıldığında kesici uçlar 8 dakika 45 saniye sonra sınıra ulaşmışlardır. Değişken ilerleme ile aynı takım 11 dakika 15 saniye çalışmıştır bu da %30 daha iyi bir takım ömrü demektir.

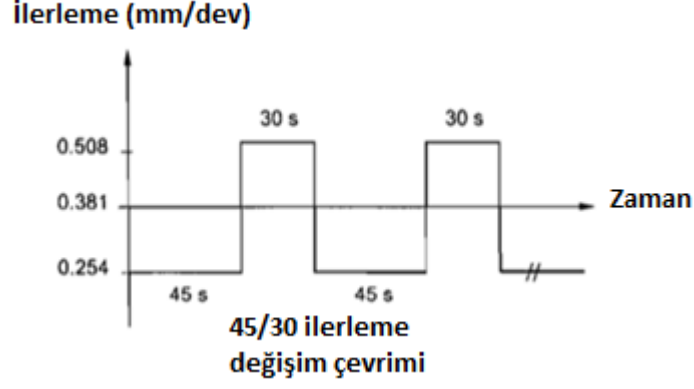
E. Altan ve U. Emiroğlu tornalamada ilerlemenin değişimini kullanarak talaşın kırılma durumunu incelemiştir [3]. Çalışmalarında değişken ilerlemeyi kaba talaş ve ince talaş kaldırmada ayrı ayrı ele almışlardır. Özellikle talaş kırıcısız uç üzerinde değişken ilerlemeyi denemişlerdir.



Şekil 1.5 Talaş Kırılması Diyagramı [3]

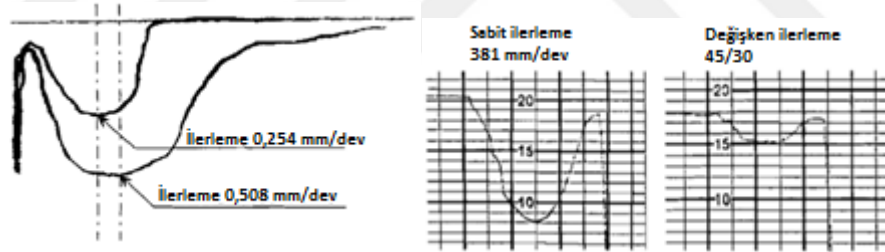
Talaş kırılması üzerine yapılan çalışmalarda bu talaş kırılması diyagramı ortogonal, oblik ve geçiş bölgesi olmak üzere Şekil 1.5'te görüldüğü gibi 3 ana bölgeye ayrılmıştır. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda araştırmacılar kesme hızının talaş kırılması üzerine çok büyük bir etkisi olduğunu görmüşlerdir. Kırılgan talaş oluşumunun kesme enerjisi ve takım-talaş arayüzey sıcaklığı ile güçlü bir ilişkisi olduğunu saptamışlardır. Deneysel olarak kaplamasız ve talaş kırıcısız Sandvik DNMA 150608 ve Böhler SPUN 120908 kesici uç kullanılmıştır. İşlenen malzemeler olarak Al7175, AISI4140 ve AISI 1040 cinsi alüminyum ve çelik kullanılmıştır. Deneysel olarak yüzey pürüzlülüğüne de bakılmış, ölçüm boyu 0,8 mm olan Mitutoyo SJ210 tip yüzey pürüzlülüğü ölçer kullanılmıştır. Önce sabit ilerlemede deneyler yapılmış ve talaşın hangi aralıklarda kırıldığı tespit edilmiştir. Al7175 için kaba talaşta kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme sırasıyla 140m/dak, 3 mm ve 0,3 mm/dev olan deneyde ince talaşta ise sırasıyla 300 mm/dak, 1 mm ve 0,32 mm/dev değerlerinde talaşın istenilen biçimde kırıldığını görmüşlerdir. Diğer malzemeler içinde sabit değerlerde bu deneyleri yaptıktan sonra değişken ilerleme kullanılarak yapılacak diğer deneylere geçmişlerdir. Sonuç olarak değişken ilerleme ile talaşın kendi kendine kırıldığı görülmüştür. Her bir malzeme ve deney için yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri hem ön deneylerde hem de değişken ilerlemeli deneylerde alınmıştır. Sabit ilerleme ile değişken ilerleme arasında yüzey pürüzlülüğü açısından fazla bir fark yoktur. Değişken ilerleme ile talaşın kırılacağı net bir şekilde ortaya konmuştur. Çalışmada değişken ilerleme yöntemi ile talaş kırıcısız uç kullanılarak takım maliyetinin azaltılabileceği belirtilmiştir.

Takım ömrünün gelişimi için Balazinski'nin, 4140 malzemeyi frezelediği çalışmada iki farklı ilerleme değeri kullanarak aşınmanın nasıl azaltıldığından bahsedilmiştir. [4] İlerlemeyi değiştirmenin takım talaş temas yüzeyini artırıp azaltacağını, krater aşınmasını düşürerek kesici takımın ömrünü artıracığından bahsedilmiştir. Sadece 2 farklı ilerleme değeri kullanılarak yapılan çalışmada ilerleme değişiminin yüzey pürüzlülüğü, yüzey hataları ve kalıntı gerilemeler üzerine olan etkilerinin de incelenebileceğini söylemiştir. Bu metodun temelini takım talaş temas uzunluğunun kontrolüyle alakalı olduğundan bahsetmiştir. Krater aşınmasının direkt olarak takım talaş temas uzunluğuna bağlı olduğunu, temasın arttığı şartlarda aşınma miktarının azalacağını iddia etmiştir. İlerlemenin farklı değerlerinde krater aşınmasında önemli ölçüde farklılıklar olduğu görülmüştür. Sabit kesme hızında ilerlemenin değişiminde, ilerleme arttıkça takım-serbest yüzey ve takım-talaş ara yüzeyindeki ısının arttığını görmüşlerdir. Temas boyunun da ilerlemenin değişmesiyle değiştiği görülmüştür. Deneylerini iki set halinde yapmış ve ilk deney setini değişken ilerleme şartlarını belirleyebilmek amacıyla gerçekleştirmiştir. İkinci aşama deneyler ise değişken ilerlemenin takım aşınması üzerine yaptığı etkileri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deneyler esnasında SNMA 120408-E-R (150) kesici uç kullanılmıştır. Kullandıkları iş parçası 4140 çeliğidir. Mikroskop olarak Toolmaker mikroskop kullanmışlardır. Kesme hızı olarak 122 m/dak, kesme derinliği 1 mm olarak belirlenmiş ve kullanılan sabit ilerleme (aynı zamanda değiştirilen ilerlemelerin ortalaması) 0,381 mm/dev olarak takım firmasının katalog değerlerinden seçilmiştir. Yaptıkları bu çalışmada araştırmacılar ilerlemenin temas boyuna etkisini, farklı ilerlemeler için takım aşınmasına karşı kesme süresini, ilerleme değişiminin krater derinliği ve krater merkezi üzerine etkisini, sabit hacimde kaldırılan talaş başına ilerleme ve krater aşınması ilişkisi, 0,254-0,381-0,508-0,768 mm/dev ilerlemelerde birim talaş kaldırma hacmi başına ilerlemeye karşılık krater genişliğini incelemişlerdir. 0,508 mm/dev değerinde görülen krater aşınması değişken ilerleme için üst değer seçilmiş ve aynı hacimde 0,254 mm/dev ilerleme ile işleme yapabilmek için kesme sürelerini optimize etmişlerdir. Krater derinliği ve krater merkez pozisyonu ölçümleri 0,254 ve 0,508 mm/dev için yapılmıştır. 0,254 mm/dev için krater oluşumu 45. saniyede, 0,508 mm/dev için krater oluşumu 30. saniyede başlar. Dolayısıyla iki farklı ilerleme seçilmiş ve biri 45 saniye diğeri 30 çalışacak şekilde deneyler yapılmıştır.



**Şekil 1.6** İki Farklı İlerlemenin Değişiminin Grafiksel Gösterimi [4]

2. aşama deneylerde yine aynı ilerleme değerleri kullanılmış fakat bu sefer süreler 20 saniye ve 10 saniyeye düşürülmüştür. Eşit talaş kaldırma hacmi için 3 farklı uzunlukta işleme yapılmıştır. Bu uzunluklar 1428 mm, 2143 mm ve 2852 mm'dir. SEM cihazında takımın ölçümü yapılmış ve krater profili çıkarılmıştır. SEM cihazından çıkan sonuçlara göre değişken ilerleme ile yapılan deneylerde Şekil 1.7'de görüleceği gibi krater profili çok daha iyi çıkmıştır.



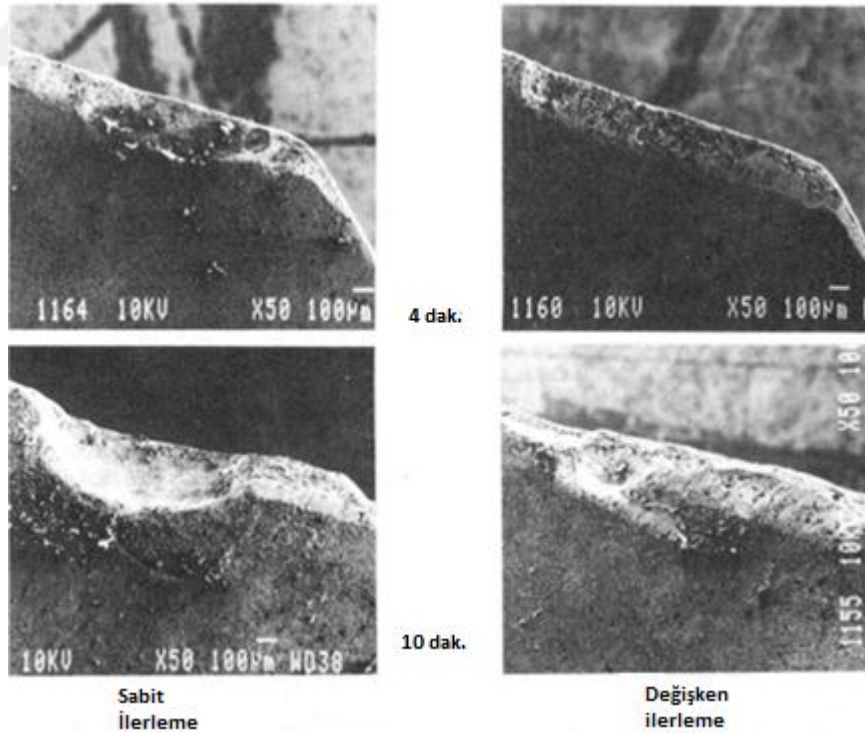
**Şekil 1.7** Sabit İlerlemeler Arasındaki Krater Derinliği Farkı ve Değişken İlerleme ile Karşılaştırılması [4]

Yapılan ölçümlerde sabit ilerleme için krater derinliği 47  $\mu\text{m}$  çıkarken, değişken ilerleme kullanıldığında krater derinliği 13  $\mu\text{m}$ 'ye düşmüştür. Her bir kesme uzunluğu için krater derinliği 3 farklı işleme biçiminde de ölçülmüştür. Bunlar sabit ilerlemeli, 45/30 değişken ve 20/10 değişken prosesleridir. Krater aşınmasının önemli bir kısmının başlangıç aşamasında olduğu gözlemlenmiştir. Krater aşınması serbest yüzey aşınmasından daha öndedir. Lineer ve sinüsoidal ilerleme biçimlerinin kullanıldığı çalışmaya kıyasla krater aşınmasındaki düşüş bu çalışmada çok daha fazladır [2]. Sonuç olarak 2 farklı ilerleme kullanılarak yapılan değişken proseste %70 oranında aşınmada iyileşme görülebileceği, yüzey pürüzlülüğü önemli olduğunda bu metodun



kullanılmayacağı, ilerlemenin değiştiği bölgelerde yüzey hatalarının oluştuğu ve değişken ilerlemenin sonucu olarak herhangi kalıntı bir gerilme olmadığı belirtilmiştir.

Balazinski'nin 17-4PH paslanmaz çeliğin değişken ilerleme ile frezelemede aşınmayı incelediği çalışmada [5] sabit sürede sabit talaş kaldırma hacmi ile sıcaklık dağılımı ve ara yüzeydeki krater ekseni pozisyonuna açıklık getirmiştir. Yaptıkları çalışmada %30'a varan bir takım ömrü iyileşmesi mevcuttur. Krater ve serbest yüzey aşınmalarına bakmış ancak ön plandaki aşınmanın krater aşınması olduğunu söylemiştir. Bu da difüzyon aşınmasının karakteristik etkisidir demiştir. Bu sebeple paslanmaz çelik gibi kuvvetli ve aşındırıcı bir malzeme seçmişlerdir. Krater aşınması genelde sıcaklığın en yüksek olduğu temasın artan noktalarında pik yapmaktadır. Değişken ilerlemenin en büyük etkisinin talaşın takım üzerinde sürekli aynı noktaya temas etmemesi, temas boyunun değişmesiyle talaşın takım üzerinde farklı noktalara çarparak sıcaklığı dağıtması ve derin bir krater oluşturmamasıdır. Bahsedilen durum Şekil 1.8'de açıkça görülebilmektedir. 4 ve 10 dakika işlemlerden sonra sabit ve değişken ilerlemenin krater oluşumuna etkisini gösteren bu fotoğrafta değişken ilerlemenin krater aşınmasını olumlu biçimde etkilediği net biçimde görülebilir.



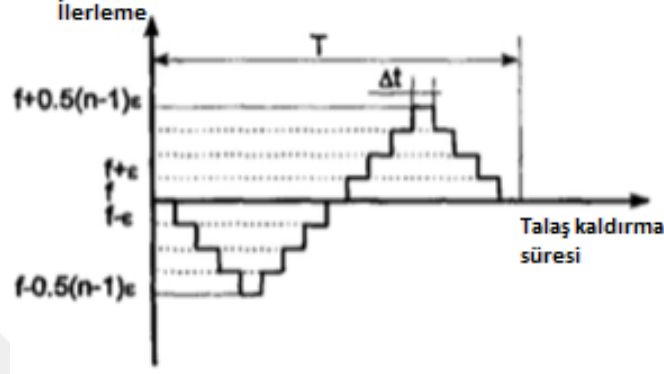
**Şekil 1.8** Değişken ve Sabit İlerleme Kullanımında Krater Biçimleri [5]

Kesici uç olarak Sandvik SEM43A ve GC235 kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 92 m/dak, sabit ilerleme olarakta 0,8 mm/dev seçilmiştir. Deneyler 14 dakika boyunca sabit ilerleme için 18 dakika boyunca değişken ilerleme için yapılmıştır. Her bir adımda yeni kesici uç seti kullanılmış ve aşınma Toolmaker atölye mikroskobu ile ölçülmüştür. Krater şekli ve yüzey her adımda SEM cihazı ile kontrol edilmiştir. KTmax ve VBmax ölçülen aşınma değerleridir. Ancak bu çalışmada sadece krater aşınmasına bağlı sonuçlar sunulmuştur. Takım aşınması değişken ilerlemede daha üniform olarak dağılmış ve krater oluşumu gözlenmemiştir. Yine de Resim.1.8'den görülebileceği gibi kratere benzer birkaç küçük çukur görülebilmektedir. 10 dakika sabit ilerlemeden sonra 0,15 mm'lik bir krater oluştuğunu gördük. Aşınma, sıcaklığın kritik değerinden sonra üstel olarak artmaya başlamıştır. Ancak değişken ilerlemede aşınma tek bir noktaya değil de tüm yüzeye dağılır. Bu durum tek noktada sıcaklığın artmasını ve kritik değere ulaşmasını engeller. Ancak bu durumda daha fazla sayıda fakat küçük boyutlarda kraterlerin oluşmasına sebep olur. Dağılan sıcaklık kaplamalı uçlarda bir avantaj olabilir. Kaplamanın kalkması ve kırılma geciktirilir. Değişken ilerlemedeki krater derinliğini sabit ilerlemedekine oranlarsak bu çalışma için 0,7 gibi bir oran ortaya çıkar ki bu da %30 takım ömrü iyileşmesi demektir.

Balazinski'nin yaptığı diğer bir çalışmada [6] takım güvenilirlik analizi olarak isimlendirdiği bir model oluşturmuş ve bu modeli değişken ilerleme ve olasılık fonksiyonu kullanarak paslanma çelik üzerinde test etmiş ve takım ömürlerini yaklaşık doğru tahmin etmiştir. Takımın güvenilirliğini değerlendirebilmek için matematiksel modelin olasılık teorisi üzerine olması gerektiğinden bahsetmiştir. Bu model rasgele bir değişkenle takımın hurdaya ayrılana kadar çalıştığı süreye bağlıdır. Matematiksel yaklaşım, deneysel sonuçlardan ve takımın güvenilirlik seviyesinin tahminini işaret eden şartlardan elde edilen istatistikî dağılımlara dayanır. Bu modelin yeniliği aynı anda hem serbest yüzey hem de krater aşınmasını hesaba katmasıdır. Güvenilirlik analizinde kesici takım iki olası duruma sahiptir. Bunlar çalışma durumu ve iş göremezlik durumudur. Bu iki durumun birbirinin zıttı olduğu durumlardır. Takımın iş göremezlik durumunda ya çok aşınmış olması ya da kırılması durumu söz konusudur. Fakat kırılma takımın doğru çalıştırılmamasından kaynaklanmıştır. Bu çalışmada krater ve serbest yüzey aşınması takımın iş göremezlik durumunun bir ölçüsüdür. Bu aşamalardan sonra olasılık denklemleri yazılmış sonuç olarak Denklem 1.5'e ulaşılmıştır.

$$f(t) = \frac{b}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{(b-1)} \exp \left[ -\left(\frac{t}{\theta}\right)^b \right], \quad b, \theta > 0; t \geq 0 \quad (1.5)$$

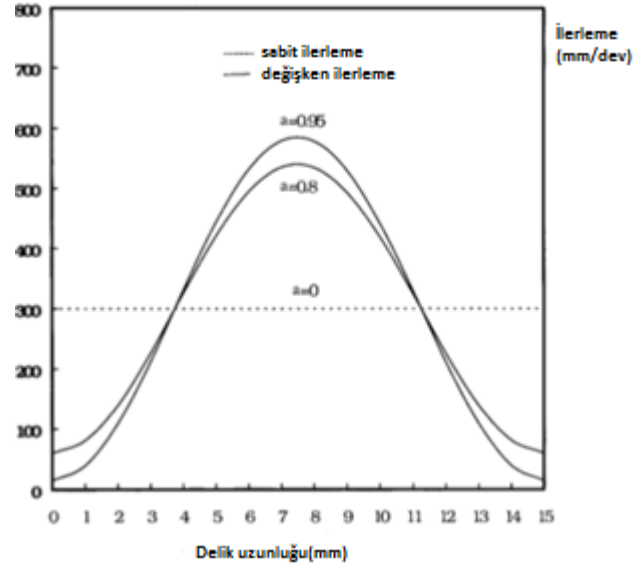
Değişken ilerleme deneylerinde kullandıkları ilerleme formülasyonu Şekil 1.9'daki gibidir.



Şekil 1.9 İlerlemenin Değişimi [6]

Sonuç olarak buldukları denklem takım güvenilirliği %70'in altına düştüğünde takımın değiştirilebileceği bir sistem kurmaya yarayabilir. Güvenilirlik denklemi takım ömrü tahmini yapabilir. Sonuçlar %20-%43 arası ortalama bir ömür artışı sağlandığını göstermektedir.

T.-R Lin hem değişken ilerleme hem de değişken kesme hızı kullandığı çalışmasında [7] paslanmaz çeliğe delik delme işlemi esnasında kesme davranışını incelemiştir. Kesme davranışı ile aslında takım ömrünü, çıkış çapak yüksekliğini, yüzey pürüzlülüğünü ve matkap aşınmasını birlikte ele almışlardır. Kullandıkları malzeme östenitik paslanmaz çelik olan SUS304 kalite 150s100x15 mm boyutlarında plakalardır. Diğer çalışmalara benzer şekilde tanımladıkları 'a' sabit değeri ile ilerlemeyi ve kesme hızını değiştirdikleri fonksiyonlarda  $a=0$  değerinde parametreleri sabit olmaktadır. Şekil 1.10'da yaptıkları çalışmada ilerlemeyi nasıl değiştirdiklerini grafiğe dökmüşlerdir.



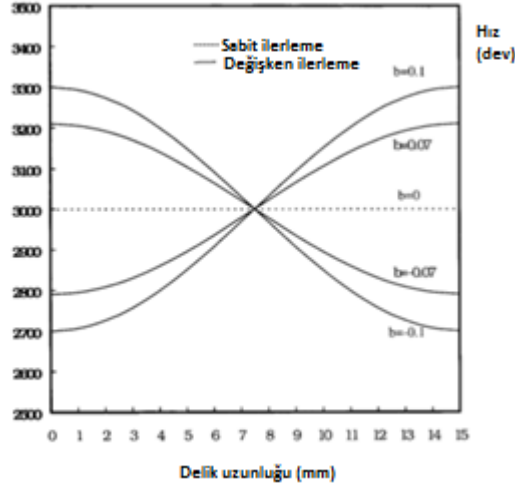
Şekil 1.10 İlerleme İçin Kullanılan Değişim Grafiği [7]

Diğer çalışmalarında yaptıkları gibi TiN kaplı matkaplar kullanmışlardır. Takımın, maksimum serbest yüzey aşınmasında sınır 0,8 mm olacak, yüzey pürüzlülüğü  $Ra \geq 5$   $\mu m$  olacak, haddinden fazla kesici kenar dış kısımlarının kırılmasında ve helis ağızlarında aşınma görüldüğü durumlarda hurdaya ayrılacak demişlerdir. Aşağıda belirtilen denklemler sinüsoidal biçimde artış ve azalışı temel alan denklemlerdir. Kullandıkları denklemler Balazinski'nin çalışmasına [2] çok benzemektedir.

$$f(x) = fc \left[ 1 + a \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{2} \right) \right] ; \text{ İlerleme için}; \quad (1.6)$$

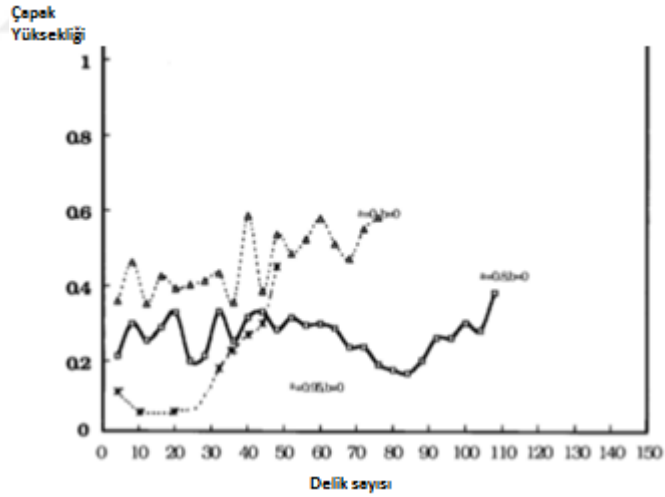
$$w(x) = wc \left[ 1 + b \cdot \sin \left( \pi \cdot \frac{x}{L} + \frac{3 \cdot \pi}{2} \right) \right] ; \text{ Kesme hızı için}; \quad (1.7)$$

Bu denklemlerde [7]  $fc$ , sabit ilerleme hızı,  $wc$ , sabit kesme hızı,  $a$ , ilerlemenin genliği,  $b$ , hızın genliği,  $L$ , iş parçasının kalınlığıdır. Şekil 1.11'de kesme hızının denkleme bağlı nasıl değiştiğini göstermek amacıyla oluşturdukları grafik verilmiştir.



Şekil 1.11 Kesme Hızının Değişimini Gösteren Grafik [7]

Sabit ve değişken durumlarda parçalarda oluşan matkap çıkış çapağının boyutları her 10 delikte bir ölçülmüş ve Şekil 1.12'deki grafik oluşturulmuştur. Tahmin edilebileceği gibi çıkış çapağı en yüksek olan eğri sabit şartlardaki kesme değerlerine aittir. Değişken ilerleme ile yapılan (sadece 'a' sabitinin değiştiği) deneyin sonucu siyah ile gösterilmiş ve çıkış çapağı açısından en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 1.12 Çıkış Çapağı Yükseklikleri [7]

Sonuç olarak değişken kesme hızı ve değişken ilerleme tüm değerlendirme parametrelerinde sabit şartlara göre daha iyi sonuç vermiştir. Maksimum takım ömrü için belirlenen a ve b değerleri sırasıyla 0,8 ve 0,07 olmalıdır. Hız değişkenliği açısından b=0-0,07 arası en iyi sonuçları vermektedir.

Jemielniak ve arkadaşları takım ömrünün önceden tahmin edilebilecek biçimde tornalamada değişken ilerleme ve değişken hız ile yaptıkları çalışmada bir bağıntı çıkarmışlar ve modelin doğruluğunu test etmişlerdir [8]. Yaptıkları çalışmada kaplamalı ve kaplamasız sinter karbür uçlar kullanmışlardır. Kullandıkları kesici uçlar S30S ve TiC-TiN kaplı NT25'tir. İş parçası malzemesi olarak sıcak haddelenmiş C45 çeliği seçmişler ve tüm deneyleri 2 mm kesme derinliğinde uygulamışlardır. Aşınma ölçümlerini mikroskop ile, krater profilini çıkarabilmek için profilograph cihazı kullanmışlardır. Bu şartlar altında yaptıkları çalışmada ön planda olan aşınma türü krater aşınmasıdır. Değişken şartlarda tahmin yapabilmek adına önce deneylerini sabit parametrelerle yapmışlar ve aşağıdaki bağıntıları [8] kaplamasız uç için çıkarmışlardır.

$$KT(\mu m)=2,27.10^{-12}.v^{6,34}.a^{3,25}.t^{1,24} + 19 \quad (1.8)$$

$$VC(mm)=2,58.10^{-5}.v^{1,85}.a^{0,82}.t^{0,54} \quad (1.9)$$

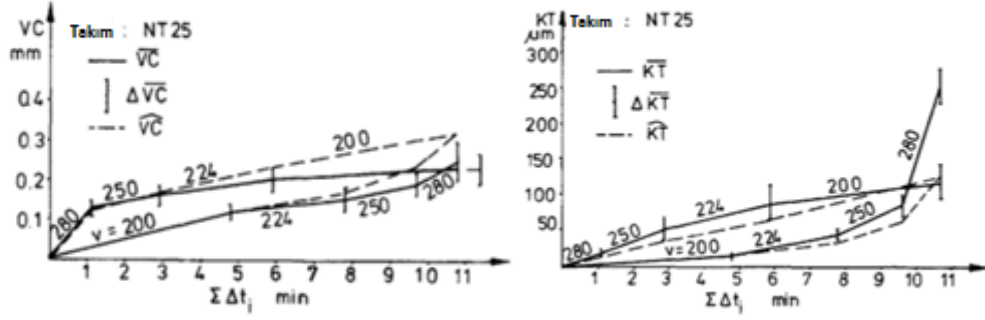
Kaplamalı uçlar için farklı aşınma bağıntıları geliştirmelerinin sebebi ise aşınma karakteri olarak kaplamalı uçların farklı bir profil sergilemesi sebebiyledir. Kaplamalı uçlar için aşağıdaki denklemleri [8] geliştirmişlerdir.

$$KT=3,66.10^{-10}.v^{4,74}.a^{1,87}.t^{1,07} \quad KT < 48 \mu m \text{ için} \quad (1.10)$$

$$KT=3,45.10^{-24}.v^{10,72}.a^{4,23}.t^{2,42} \quad KT > 48 \mu m \text{ için} \quad (1.11)$$

$$VC(\mu m)=0,088. \exp(3,44.10^{-11}.v^{4,40}.a^{1,60}.t) \quad (1.12)$$

Yaptıkları deneysel çalışmalarda majör kesen ağız ve kraterin en derin noktası arası mesafe ilerlemenin dizilimine bağlıdır demişlerdir. Azalan ilerleme şartlarında neredeyse bu değer sabittir. İlerleme artarken aşınma kraterin yan tarafına yoğunlaşır. Bu da en derin noktanın yerinin kaymasına ve krater derinliğinin azalmasına sebep olur. Daha geniş yelpazede ilerleme değişimlerinde son krater derinliğinin daha önemli olacağı aşıkardır. Serbest yüzey aşınması denklemler ile hesaplanan değerler ile neredeyse aynı çıkmıştır. Kaplamasız uçlar için aşınma tahmin edilen değerlere çok yakındır.



**Şekil 1.13** Serbest Yüzey ve Krater Aşınması İçin Tahmin Edilen ve Gerçekleşen Değerler [8]

Sonuç olarak sabit parametrelerle oluşturulan ifadeler değişken parametrelerin tahmin edilmesinde kullanıldı. Kaplamalı uç için değişken koşullarda krater aşınmasının davranışı artış ve azalışa bağlıdır. Sabit koşullarda elde edilen denklemlerle tahmin edilemez. Kaplama kalkması ile davranış kesin olarak değişir. Tüm çalışmaların sonuçları genel olarak incelendiğinde takım, iş parçası malzemesi, tezgâh ve ölçüm aletleri değişse de değişken kesme hızı ve ilerlemenin imalatta kullanılması ile takım ömründe net bir biçimde iyileşme sağlayacağı bilinmektedir.

## 1.2 Tezin Amacı

Günümüzde talaşlı imalat birçok üretilen parçada son işlem olarak uygulanmakta, ortaya çıkan ürün direkt olarak müşteriye gitmektedir. Bu durum hız ve kalite konusunda talaşlı imalat yapan işletmelere büyük sorumluluklar yüklemektedir. Talaşlı imalatla üretim yapan firma hem hızlı hem kaliteli hem de ekonomik olarak çalışmak zorundadır. Bu sebepten ötürü araştırmacılar imalatta maddi olarak önemli harcamalardan biri olan takım maliyetlerini düşürmeye yönelik çok çeşitli alanlarda araştırmalar yapmışlardır.

Bu araştırmaların bir kısmı talaşlı imalatta kullanılan yöntemlerin geliştirilmesine yöneliktir. Geleneksel olarak sabit parametrelerle yapılan işlemlerde takımların aşınmaları daha hızlı olup, ömür açısından iyi sonuç vermemektedir. Fakat 80'li yıllardan beri araştırılan kesme işlemi esnasında parametrelerin değişimi takım üzerine gelen yükleri değiştirmekte takımın ulaşacağı maksimum sıcaklığı azaltmakta ve dolayısıyla takım ömürlerinde iyileşme sağlamaktadır.

Araştırmacılar genel olarak literatürde sinüzoidal olarak artıp azalan kesme parametreleri ile çalışmalar yapmışlar ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada da

değişim mekanik olarak kademeli olsa da teoride sinüs dalgasına benzer bir grafik üzerinden yola çıkılarak deneyler yapılmış ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada önce kesici takım aşınmasının sebeplerinden bahsedilmiş, ardından takım aşınması çeşitleri ve aşınma mekanizmaları anlatılmıştır. Plastik kalıp çeliği olan 1.2738 çeliğinin freze ile işlenmesinde kesme hızını ve ilerlemeyi değiştirmenin takım ömrü üzerine nasıl etki ettiği incelenmiş ve çıkan sonuçlarda %100 oranında daha iyi takım ömrü sağlandığı görülmüştür.

Takımın ömrünü en çok etkileyen aşınma mekanizmalarından biri olan serbest yüzey aşınması, önceki çalışmalarda değerlendirilmiş ve bu tezde serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak takım ömrü değerlendirilmiştir.

Yöntem makine imalat sektöründe bilinmemekle birlikte, Cam programlarının modüllerinde kalıp imalatı için köşe dönüşlerinde ve kuvvetin arttığı durumlarda ilerlemeyi azaltmanın pratik yöntemleri vardır. Ancak özellikle seri imalata uygulanması gereken keserken parametrelerin sürekli değişimi yöntemi ile önemli derecelerde takım maliyeti azaltılabilir.

### **1.3 Hipotez**

Tüm çalışma göz önüne alınarak oluşturulabilecek hipotez: “Değişken kesme hızı ve değişken ilerleme kullanılarak yapılan talaşlı imalat işlemlerinde takım ömrü artar.”



### **2.1 Takım Aşınması Oluşumu**

Kesici takım aşınması ve mekanizmaları pratikte işleme fiyatı ve kaliteyi direk etkilediğinden çokça araştırılmıştır. Daha geç aşınan, görece uzun ve tahmin edilebilir çalışma süreleri olan takımlar üretim fiyatlarını düşürmüş, ölçülerde stabilite sağlamış ve yüzey kalitesini güçlendirmiştir. Çabuk aşınan takımlar, tahmin edilemeyen maliyet ve hatalı parça artışlarına sebep olur. Bu sebeplerden ötürü, takım ömrü en yaygın performans ve işlenebilirlik kriterlerinden biridir.

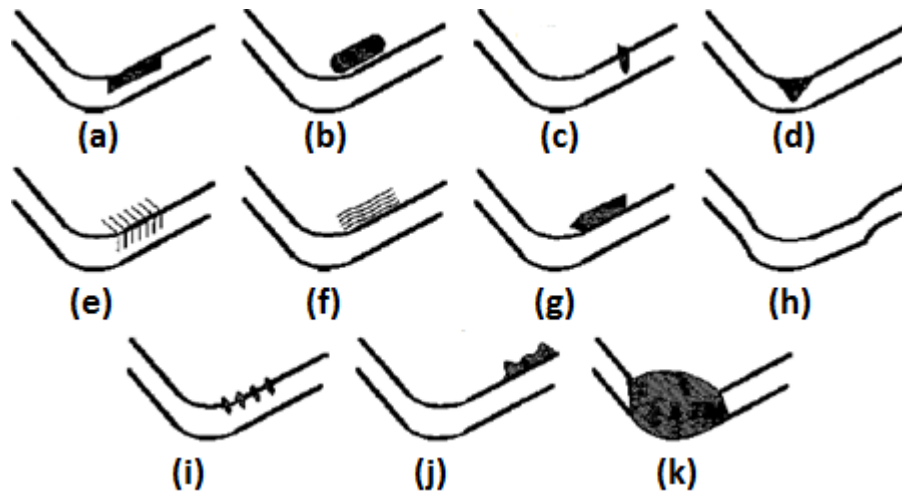
Takım ömrünün anlaşılması takımın neden aşındığının bilinmesinden geçer. Geniş olarak bakarsak takım, aşınmadan dolayı, plastik deformasyondan veya kırılmadan dolayı hurdaya çıkabilir. Takım aşınması etkilenen bölgeye göre veya fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılabilir. Aşınma, her zaman büyük ölçüde takım malzemesine bağlı olarak değişir. Takım ya plastik deformasyona uğrar ya da talaş kaldırma esnasındaki yükü karşılayamadığından dolayı kırılır. İki durumda da takım aşınması büyük ölçüde takımın üretildiği malzemeye bağlıdır. Takım, talaş oluşumu esnasında meydana gelen yükleri karşılayamadığından kırılır veya aşınır.

Talaş kaldırma araştırmalarının başlıca hedeflerinden biri takım ömrü tahmin metotlarını geliştirmektir. Bu noktada göz önüne alınması gereken takım aşınması ve takım ömrü arasındaki farktır. Genelde takım aşınma miktarları, testlere ve fiziksel şartlara göre tahmin edilebilir, ancak bu genel anlamda takım ömrü tahmini demek değildir. Çünkü takım ömrü, parça gereksinimlerine göre değişkenlik gösterir. Pratikte takımlar, kabul edilebilir toleranslar dahilinde parça üretmediğinde hurdaya ayrılır. Bunlar ölçü, şekil veya yüzey pürüzlülüğü, çıkış çapağı oluşması, yükselen kuvvetlerden dolayı uç kırılması gibi sebepler olabilir. Takımlar aynı şartlarda farklı ömür değerlerinde yine çalışabilir. Bu sebeplerden ötürü takım ömrü tahmini öncelikli olarak karşılaştırmalı sebeplerden ötürü çok kullanışlıdır. Örneğin, takım malzemesi, farklı iş parçaları veya kesme şartları için beklenen takım ömrü seviyelerini sıralamada, eğer daha önceden bu şartlar altında kayıtlı uygulama verileri yoksa, belirli bir

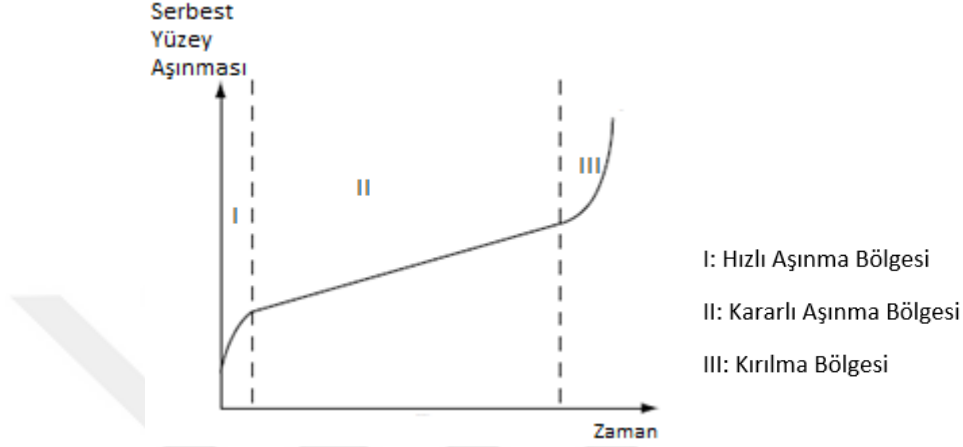
uygulamada takım ömrünün doğru bir tahminini vermeleri beklenmez. Takım ömrünün pratikteki hayati değeri sebebiyle konu derinlemesine araştırılabilir.

## 2.2 Takım Aşınması Türleri

Kesici takımlardaki aşınmalar etkidikleri bölgelere göre sınıflandırılmıştır [9]. Aşınma serbest yüzey veya talaş yüzeyinde görülebilir. Serbest yüzeydeki aşınmaya serbest yüzey aşınması denir ve Şekil 2.1a'da görülmektedir. Aşınma bölgesindeki işlenmiş yüzeye sürtünme takımın bu yüzeyine zarar verir ve sürtünmeye bağlı ısınmayı ve serbest yüzey kuvvetlerini oluşturur. Bu da sapmanın artmasına yüzey kalitesinin düşmesine sebep olur. Serbest yüzey aşınması çoğunlukla kesici kenardaki abrazyonun bir sonucudur. Serbest yüzey aşınmasının boyutu yüzey genişliğinin ortalaması veya maksimumu olarak karakterize edilir. Serbest yüzey aşınmasının talaş kaldırma süresine bağlı değişimi Şekil 2.2'de görülebilir. Takım kesmeye başladığı anda serbest yüzeyde şiddetli bir aşınma görülür fakat bu kısa sürer. Kararlı aşınma evresinde daha düzgün ve az aşınır. Serbest yüzey aşınmasındaki ilerleme üretimde basitçe takip edilebilir. Bu aşınma takımın boyutlarındaki değişimden veya iş parçasındaki ölçü değişiminden anlaşılabilir. Serbest yüzey aşınma bölgesi genel olarak uçların yakınında daha kalın bölümler ile üniform bir genişliğe sahiptir. Serbest yüzey aşınması takım malzemesinde abrazyon direnci artırarak veya güçlü kaplaması olan takımlar kullanılarak minimize edilebilir.

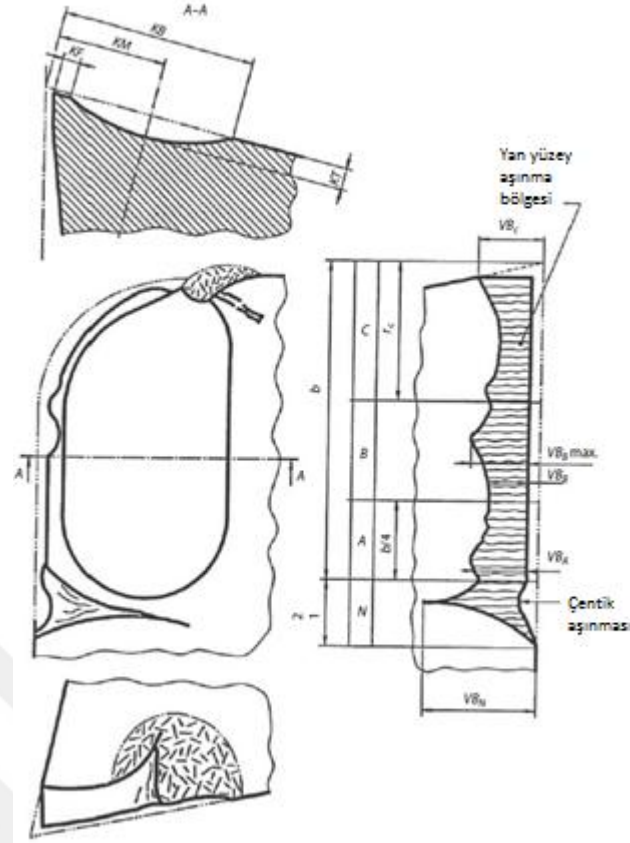


**Şekil 2.1** Kesici Takım Aşınmaları; (a) Serbest (Yan) Yüzey Aşınması; (b) Krater Aşınması; (c) Çentik Aşınması; (d) Burun Radüsü Aşınması; (e) Dikine Termal Çatlaklar; (f) Paralel (Mekanik) Çatlaklar; (g) Talaş Yapışma Kenarı; (h) Kitlesele Plastik Deformasyon; (i) (Büyük Parçalar) Kenardan Dökülme; (j) Talaş Çekiçlemesi; (k) Kitlesele Kırılma [9]

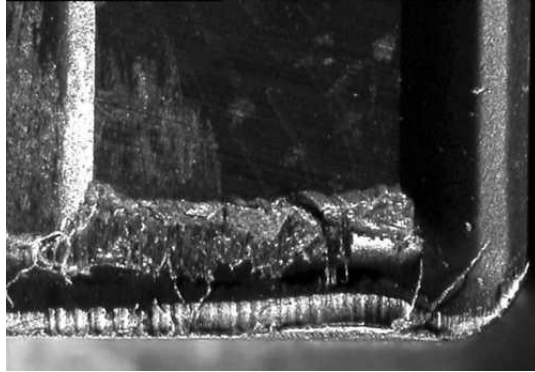


**Şekil 2.2** Serbest Yüzey Aşınmasının Talaş Kaldırma Süresine Bağlı Değişimi ve Sırasıyla Giriş Aşınması, İstikrarlı Aşınma ve Şiddetli Aşınma Bölgeleri [9]

Talaş yüzeyi aşınması veya krater aşınması Şekil 2.1b, 2.3 ve 2.4 takım yüzeyinde oluşan çukur şeklinde bir aşınmadır. Orta kararda bir krater aşınması çoğu zaman takım ömrünü sınırlamaz. Aslında krater oluşumu, efektif talaş açısını artıracığından kesme kuvvetlerinin düşmesini sağlar. Yine de kraterin büyümesi takımı zayıflatarak kırılmaya sebep olur ve önlenmelidir. Çünkü bilenebilen takımlarda takım ömrünü kısaltarak tekrar bilemeyi zorlaştırır. Krater aşınmasının boyutu  $KT$  krater derinliği ile ifade edilir. Yine bu aşınma çeşidi de zamana bağlı olarak serbest yüz aşınmasına benzer biçimde değişir. Şiddetli krater aşınması sıcaklık bağlantılı difüzyon veya kimyasal aşınma mekanizmalarının sonucudur. Talaş kaldırmada kimyasal kararlılığı artırarak veya takımın talaşta kimyasal çözülebilirliğini azaltarak önlenabilir. Bu kaplama yapılarak sağlanabilir. Kesme hızını düşürmek de yine krater aşınmasını kontrol etmede faydalı olacaktır.



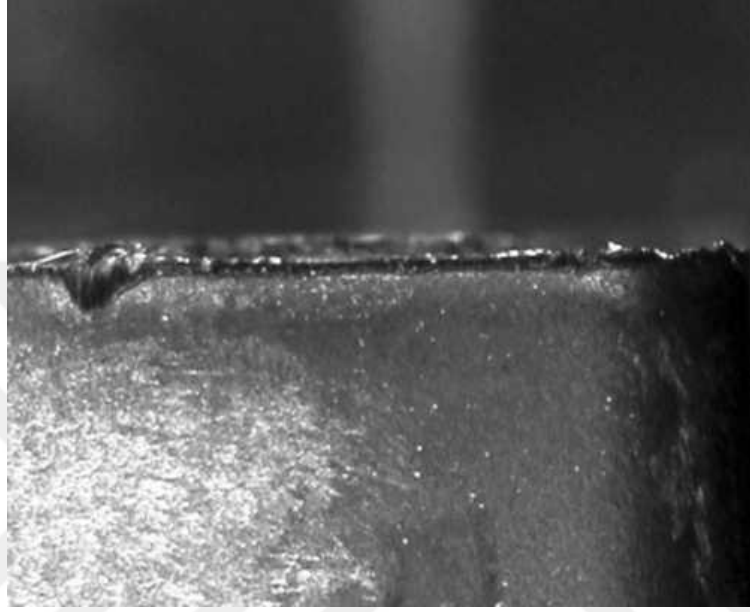
Şekil 2.3 ISO 3685'e Göre Serbest Yüzey ve Talaş Yüzeyi Aşınması [9]



Şekil 2.4 Nikel Alaşımı İşleyen Kaplamalı Karbür Bir Ucu Krater Aşınması [9]

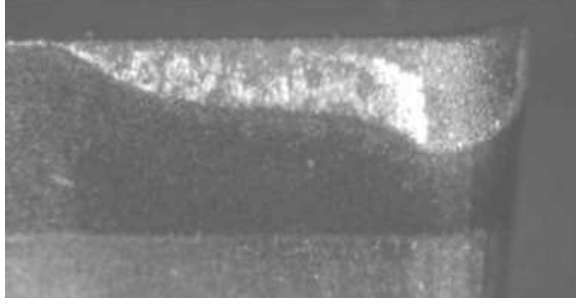
Kaba tornalamada kullanılan takımlarda genelde Şekil 2.1c ve 2.5'de görülen çentik aşınması oluşur. Özellikle takım ve işlenmemiş parça yüzeyinin ya da talaşın boşta olan yüzeyinin temas noktasında oluşur. Çentik aşınması çoğu zaman abrazyonun sonucudur ve özellikle iş parçasının yüzeyi sert ise, sertleştirilmiş malzeme işlerken oluşan abrazyon talaşından dolayı (paslanmaz çelik ve nikel alaşımları) görülür. Çentik aşınması eğer

soğutma kullanılıyorsa oksidasyon sonucunda, kimyasal reaksiyonlarla veya takım ve atmosfer arasındaki korozyon sebebiyle de oluşabilir. Şiddetli çentik aşınması takımın tekrar bilenmesini etkileyerek kırılmaya (özellikle seramik takımlarda) sebebiyet verir. Çentik aşınması, takım ve iş parçasının temas yüzeyini artıran ayar açısının artırılması ile, çok pasolu işlemlerde kesme derinliğini değiştirmeye ve takım malzemesinin sıcak sertleşme direncini ve deformasyon direncini artırmakla düşürülebilir.

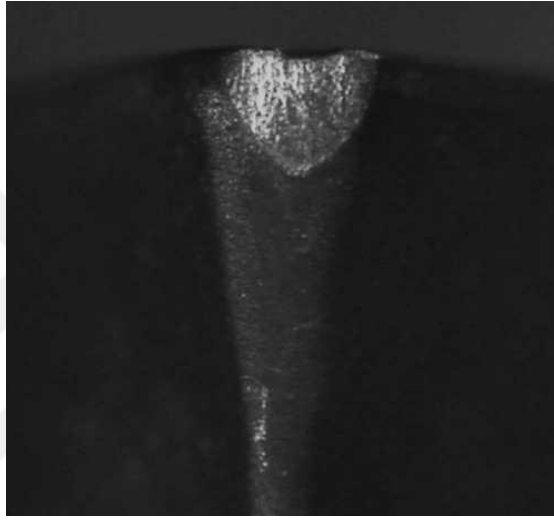


**Şekil 2.5** Nikel Alaşımı İşleyen Bir Kaplamalı Karbür Ucu Çentik Aşınması [9]

Burun radüs aşınması Şekil 2.1d-2.6-2.7’de görüldüğü gibi ucun bir köşesinde bulunan kıvrımın aşınmasıdır. Serbest yüzey ve çentik aşınmasının birlikte bulunma haline benzer, abrazyon ve korozyon ya da oksidasyon oluşumunun bir sonucudur. Şiddetli burun radüsü aşınması yüzey pürüzlülüğünü düşürür.



**Şekil 2.6** 390 Al Kalite Malzeme İşlemesinde Kullanılan Karbür Uçta Serbest Yüzey ve Burun Aşınması Birlikte [9]

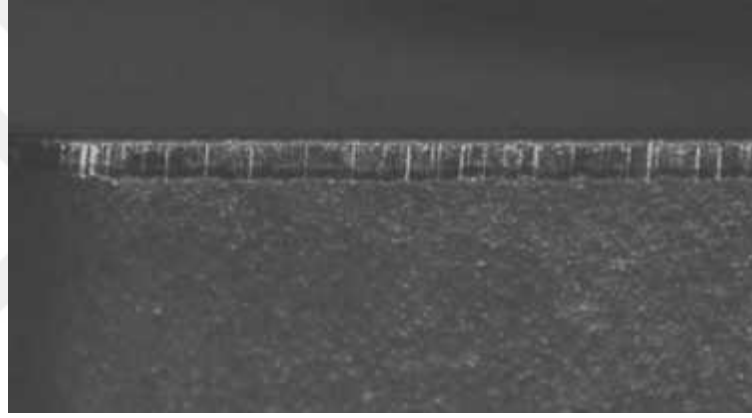


**Şekil 2.7** Nikel Alaşımli Malzemenin Talaşlı İşlenmesinde Kullanılan Karbür Kaplamalı Uçta Burun Radüs Aşınması [9]

Termal ve mekanik çatlaklar Şekil 2.1e, 2.1f, 2.8 ve 2.9’da görüldüğü gibi çoğu zaman aralıklı(fasılalı) kesme esnasında oluşan periyodik yüklere bağlı olarak ya da işlenen parçanın kesme sırasında takım-talaş ara yüzeyinde çok fazla ısı üretmesinden dolayı oluşur. İki tip çatlak görülebilir: kesme kenarına dik (periyodik termal yükler sebebiyle, özellikle soğutma kullanıldığında) ve kesme kenarına paralel (periyodik mekanik yükler sebebiyle). Çatlak oluşumu kırılmayı hızlandırıcı etki yapar.

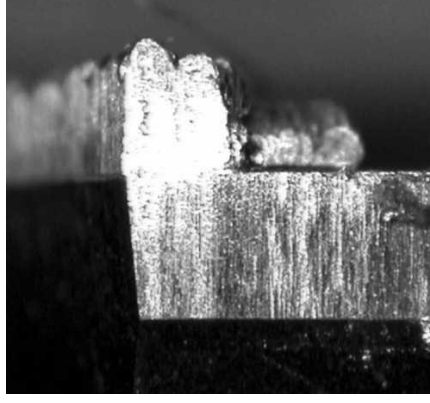


**Şekil 2.8** Yüksek Grafitli Çelik Malzemede Kullanılan Kaplamalı Uçlarda Termal Çatlaklar (Sulu Kesme) [9]



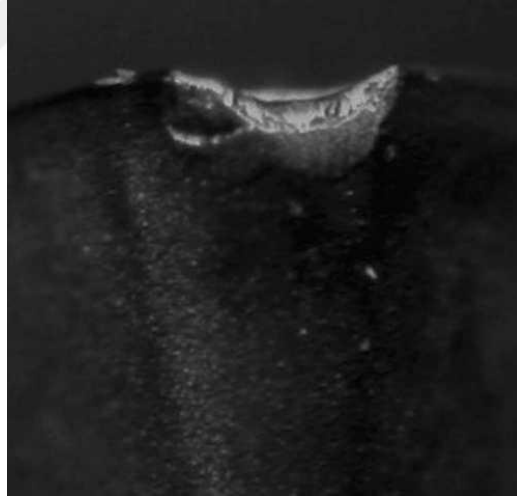
**Şekil 2.9** Kaplamalı Uçlarda Termal Çatlaklar (Susuz Kesme) [9]

Yığılma ağız Şekil 2.1g ve 2.10'da olduğu gibi çoğunlukla yumuşak metallerin, alüminyum gibi, kesme işlemlerinde düşük kesme hızlarında görülür. Metalin kesici kenara yapışması birikmesi ve öne doğru çıkmasıyla sonuçlanır. Yığılma ağız delik delme işlemlerinde de büyük bir problemdir. Spiralın çıkış köşelerinde görülür. Çünkü talaş bu noktalarda incedir. Yığılma ağız oluşumu istenmez çünkü efektif kesme derinliğini (veya delik çapını) değiştirir ve genellikle kararlı bir yapıda değildir. Takım kırılmasına ve yüzeyin bozuk olmasına sebebiyet verir. Daha yüksek bir pozitif talaş açısı kullanılarak, düzgün yüzeyli takımlarla, yüksek yağlama ile beraber soğutma kullanılarak, yüksek basınçlı soğutmayı direk talaş yüzeyine vererek veya yüksek kesme hızlarına çıkılarak önlenabilir.



**Şekil 2.10** Alüminyum İşlenmesinde Kullanılan Polikristalin Elmas Uçta Yığılma Ağız [9]

Plastik deformasyon Şekil 2.1h-2.11’de görüldüğü gibi, takım ve talaş arasındaki temas bölgesinde oluşan kesme basıncını karşılayamayacak durumdaki bir takımda oluşur. Bu deformasyon çeşidi genellikle yüksek ilerleme hızlarında (yüksek kesme kenarı yüklenmeleri) ya da yüksek kesme hızlarında (takımın artan sıcaklıkla birlikte sertliğinin düştüğü) görülür.

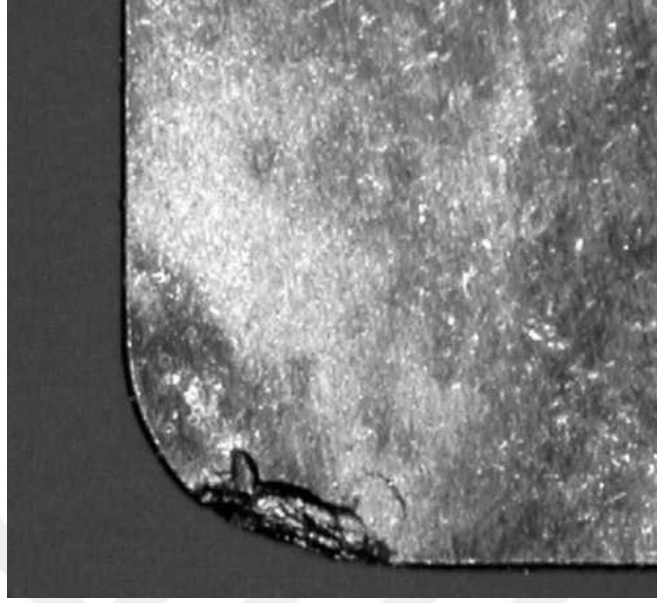


**Şekil 2.11** Nikel Alaşımı İşleyen Karbür Bir Uçta Oluşan Plastik Deformasyon [9]

Büyük parçalar halinde kırılma Şekil 2.1i-2.12’de görüldüğü üzere, gevrek takım malzemeleri ile işlemede görülür. Özellikle seramik ve polikristalin işlenmesinde ya da iş parçası sert ve abrazif parçacıklar içerdiğinde, örneğin metal matrisli kompozit veya alüminyum silikon alaşımlarında görülür. Titreşim ve düşük sistem rijitliği de bu çeşit



bir kırılmaya yol açabilir. Kırılmanın bu biçimi düşük yüzey kalitesi ve yüksek serbest yüzey aşınmasına veya takımın kırılmasına yol açabilir.



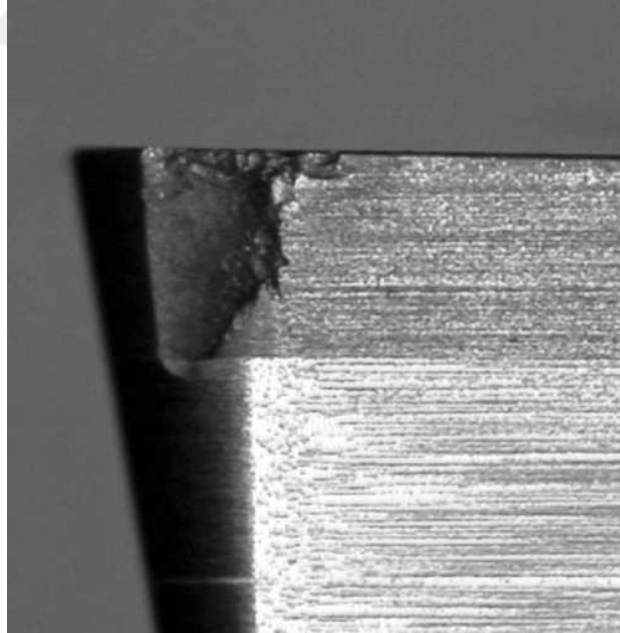
**Şekil 2.12** Sert Çeliğin İşlenmesinde Kullanılan CBN Uçta Oluşan Kenar Kırılması [9]

Talaş çekiçlemesi Şekil 2.1j-2.13'de görüldüğü gibi kesici takım sert veya abrazif talaş oluşturduğunda görülür (paslanmaz çelik veya nikel alaşımları). Talaşın talaş yüzeyine dönerek çarpmasıyla oluşan bir aşınma biçimidir. Büyük parçalar halinde kırılma ve oyulmaya hatta takımın kırılmasına sebep olabilir. Talaş çekiçlemesi uygun olmayan talaş kontrolü sebebiyle oluşabilir ve genelde ayar açısının, kesme derinliğinin, ilerleme hızının ya da uç radyusunun değişimi ile talaş yönünü değiştirerek önlenabilir.



**Şekil 2.13** Nikel Alaşımı İşlemede Kullanılan Kaplamalı Karbür Uçta Oluşan Talaş Çekiçlemesi [9]

Takım kırılması Şekil 2.1k-2.14’de görüldüğü üzere kesen kenardan büyük miktarda malzemenin kopmasıdır. Önlemek amacıyla kesme kuvvetlerini düşürecek yöntemler kullanmak, daha rijit takım, tezgah ve sistemlere yönelmek ve kırılma dayanımı iyileştirilmiş takımlar kullanmak şarttır.



**Şekil 2.14** Sert Çeliklerin İşlenmesinde Kullanılan CBN Uçta Oluşan Kırılma [9]

## 2.3 Takım Aşınmasının Ölçümü

Serbest yüzey ve krater aşınması en önemli ve en çok ölçülen aşınma tipleridir. Serbest yüzey aşınması neredeyse tüm talaş kaldırma işlemlerinde en çok izlenen takım aşınmasıdır [9].

Takım aşınması yaygın olarak aşınmış alanın mikroskop ile veya iğne uçlu bir ölçüm aletiyle değerlendirilmesi sonucunda belirlenir. Eski uygulamalarda, takım üreticisinin kalibre edilmiş göz merceği veya mikrometre aşamalarına sahip mikroskopları yaygın olarak kullanılıyordu. Şu anda dijital mikroskoplar genel kullanımda çok yaygın hale geldi. Bu aletlerin tek dezavantajı 2 boyutlu bir ölçüm sağlayabilmesidir. Lazer interferometreler bunlardan daha gelişmiş olup 3-D görüntü oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. İğne uçlu aletler profilometreye benzer eski çalışmalarda aşınmanın biçimini belirlemek amacıyla kullanılırdı. Uç radüsü sebebiyle orijinal keskin köşesi olmayan takımların serbest yüzey aşınmasını ölçebilmek amacıyla bir referans çizgiye ihtiyaç duyulur. Video görüntüleme metotları keskin ve yıpranmış kenarı birleştirip karşılaştırmayı ve ölçüm alabilmeyi sağlar. Benzer şekilde kesici kenarı fotoğraflamakta değerlendirme açısından faydalıdır. Takımın serbest yüzeyinde ortalama ve maximum aşınmaların genişliği sırasıyla  $V_{Bavg}$  ve  $V_{Bmax}$  olarak Şekil 2.3’de yazıldığı şekilde adlandırılır. Eğer kayda değer bir çentik aşınması varsa bunun derinliği ayrı ölçülür. Serbest yüzeyden aşınan malzeme hacmi  $V_w$ , yaklaşık olarak ortalama bölge genişliğine bağlı hesaplanabilir.

$$V_w = \frac{V_{Bavg}^2 \cdot b \cdot \tan \theta}{2} \quad (2.1)$$

$\theta$  = Takım ayar açısı

$b$  = kesme genişliği

Birçok takım ömrü testinde serbest yüzey aşınması takım ömrünü tayin etmek amacıyla bir kriter olarak kullanılır.

Talaş yüzeyinde Şekil 2.3’de görüldüğü gibi KB krater genişliği, KT krater derinliği, KF krater bölgesinin genişliği en sık ölçülen değerlerdir. Krater aşınması toplam hacmi  $V_{ct}$ , yaklaşık olarak Denklem 2.2’deki gibi hesaplanır.

$$V_{ct} = \frac{2 \cdot b \cdot (KB - KF) \cdot KT}{3} \quad (2.2)$$

Hacimdeki azalma bazen takım aşınmasının seviyesini belirlemek amacıyla kullanılır.

Özgül aşınma miktarı  $\eta$ , temas yüzey alanı  $A$  ile orantılı olan aşınmış hacim ve kayma uzunluğu  $L_s$  'in toplamı olarak Denklem 2.3'teki gibi ifade edilebilir.

$$\eta = \frac{1}{A} \cdot \frac{dv}{dL_s} \quad (2.3)$$

Serbest yüzey için özgül aşınma miktarı  $\eta_f$ ,

$$\eta_f = \sin\theta \cdot \frac{dVB}{dL_s} \quad (2.4)$$

Krater aşınması için özgül aşınma miktarı  $\eta_{cr}$ ,

$$\eta_{cr} = \frac{2}{3} \cdot \frac{dKT}{dL_c} \quad (2.5)$$

$L_c$  =Takım-talaş temas uzunluğu

Krater aşınması derinlikte (KT) ve genişlikte(KB-KF) artar. Krater aşınması devam ederken, kesici kenarla krater arasındaki bölgenin genişliği, KF, ve maksimum derinliğin olduğu bölge, KM, değişir. KF azalırken ve krater sınırları kesici kenarla birleşip kaybolurken, efektif talaş açısı  $\alpha_{eff}$  yaklaşık olarak Denklem 2.6'daki gibi olur.

$$\alpha_{eff} = \alpha_0 + \arctan\left(\frac{KT}{KM}\right) \quad (2.6)$$

$\alpha_0$ =nominal ayar açısıdır. KT artarken köşe zayıflar ve büyük bir kırılma oluşabilir.

## 2.4 Aşınma Mekanizmaları

Küçük kesme hızlarında en önemli aşınma mekanizmaları adezif ve abrazif aşınma mekanizmalarıdır [9]. Adezif aşınma veya diğer adıyla kazıyıcı aşınma, küçük partiküllerin sürtünme sebebiyle talaşa yapışması veya kaynaması ve takım üzerinde aşınmaya sebep olmasıyla meydana gelir. Öncelikle talaş yüzeyinde krater sebep olarak kendini gösterir. Genelde adezif aşınma miktarı düşüktür ve bu sebepten pratikte önemsizdir. Bununla birlikte, yığma ağız oluşumuna eşlik edebilir. Yığma ağız adezyon sebebiyle oluşur ve takımı kullanılmaz hale getirir. Bu durumla, delik delmede ve düşük kesme hızlarında yumuşak metallerin işlenmesinde sıkça karşılaşılır.

Abrazif aşınma, sert parçacıkların takım üzerinden sıyrılması suretiyle aşınmaya sebep olmasıdır. Abrazif parçacıklar talaş içinde, kum döküm parçalardaki kum yapışmalarında, dökme demirdeki sertleşen partiküllerde, martenzitik, östenitik ve çeliğin diğer sert safhalarında, Al-Si alaşımlarında bağ yapmamış silikon partikülleri olarak ve metal matrisli kompozitlerdeki fiberler şeklinde bulunabilir. Talaş formundan

kaynaklanabildiği gibi kesme sıvısı ve talaş arasındaki kimyasal reaksiyonlardan, toz metalürjisi ile üretilen metallerde ya da krom alaşımlı dökme demirlerin içeriğinden kaynaklanabilir. Abrasyon mekanizması önce serbest yüzeyde oluşur. Sert partiküller sebebiyle oluşan abrazif aşınma kesme sıvısı oluşumu ile bağlantılıysa erozif aşınma da denir. Abrazif aşınma, genellikle serbest yüzey aşınmasının, çentik aşınmasının, burun radüsü aşınmasının dolayısıyla takım ömrünü direkt etkileyen tiplerin oluşumunun, özellikle düşük ve orta kesme hızlarında, temel sebebidir. Bu iki aşınma mekanizması adezif ve abrazif aşınma, nicel olarak Denklem 2.7 ile ifade edilebilir.

$$v = \frac{k_w \cdot N \cdot L_s}{H} \quad (2.7)$$

v=aşınan hacim

k<sub>w</sub>=aşınma sabiti

N=sürtünme yüzeyine normal kuvvet

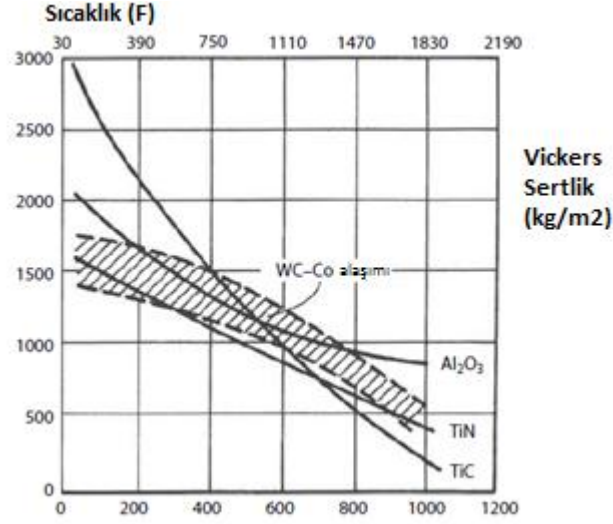
L<sub>s</sub>=takımın talaş üzerinde aldığı yol

H=takım sertliği (HB)

Bu denklem aşınmanın direkt olarak takımın sertliğiyle ters orantılı olduğunu göstermektedir. Aşınmayı azaltmak için bu denkleme bakılarak daha sert takım kullanılması gerektiği veya sert bir kaplama yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Kesme kuvvetlerini düşürmekte (N'yi düşürmek) aşınmayı azaltıcı yönde etki yapar. Bu basitçe ayar açısını artırarak yapılabilir. Ancak bu durumda kesici kenarın gücünü azaltarak takım deformasyonuna veya kırılmaya sebebiyet verebilir. Yine, kayma mesafesini ilerlemeyi artırarak azaltmak abrazif aşınmayı kontrol altına almaya olanak tanır.

Kesme hızı arttıkça adezif ve abrazif aşınma miktarları iki sebepten artar. Birincisi, birim sürede kat edilen L<sub>s</sub>, kesme hızı arttıkça artar. İkincisi, kesme hızını artırmak kesme sıcaklıklarını da artırır. Takımın sertlik değeri de artan sıcaklıkla birlikte azalma gösterir. Bu olay termal yumuşama olarak bilinir, sadece abrazif aşınmanın artmasına değil, bununla birlikte takımın plastik deforme olmasına da neden olabilir. Sinterlenmiş karbürler ve seramik takımlar için sertlik sıcaklık ilişkisi Şekil 2.15'te verilmiştir. Bağlayıcı sert partiküllerden daha etkili biçimde termal yumuşama davranışını belirler. Bu tip aşınmanın önüne, kesme hızını düşürerek, bağlayıcı miktarı düşürülerek veya bağlayıcı içeriğini değiştirerek geçilebilir.

Kesme hızları daha da arttığında sıcaklık temelli aşınma mekanizmaları devreye girmeye başlar. Bu mekanizmalar oksidasyon, difüzyon ve kimyasal aşınma mekanizmalarıdır. Bu aşınma takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki kimyasal uyuma bağlıdır. Bu aşınma tipinin önemli seviyelerde olduğu kesme hızlarında, takım talaş ara yüzeyindeki sıcaklığa ve talaşın ergime sıcaklığına bağlıdır. Genellikle kesme hızını düşürmek, takımın atmosfer, talaş ve kesme sıvısıyla reaksiyona girmeyen malzemelerle kaplamak bu aşınma tipini azaltır.



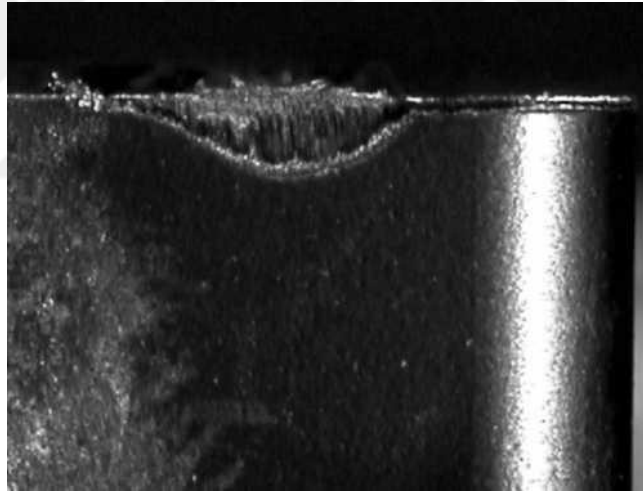
**Şekil 2.15** Sinterlenmiş Karbürler ve Seramik Takımlar İçin Sertlik Sıcaklık İlişkisi [9]

Difüzyon veya çözünme aşınması, takım malzemesinin bileşenlerinden biri veya birkaçının difüze olması biçiminde ortaya çıkar. Bu durum, takım yüzeyini zayıflatarak krater aşınmasına sebep olur. Bu aşınma tipi öncelikle takımın iş parçası içerisinde difüze olabilme durumuna göre yüksek sıcaklıklarda takım ile talaş temas süresine bağlıdır. Daha az difüze olan bir takım malzemesi kullanılırsa problem çözülür.

Oksidasyon takım bileşenleri (özellikle bağlayıcılar) atmosferik oksijenle reaksiyona girdiğinde meydana gelir. Çoğunlukla takımın sıcak kısımlarına ve serbest yüzeyine yakın yerlerde, takım talaş temas yüzeyinin atmosferle bulunduğu yerlerde oluşur. Oksidasyon genellikle ciddi çentik aşınmasıyla sonuçlanır ve takımın o bölgesinde renginin bozulmasıyla fark edilir. Aşınma kalıntılarının veya iş parçası partiküllerinin oksidasyonu, abrazif aşınmayı artıran sert oksit partiküllerinin oluşmasına sebep olabilir. Alüminyum oksit tabanlı seramik takımlarda bu tip aşınma gözlenmez.

Kimyasal aşınma veya korozyon, takım bileşenleri-iş parçası-kesme sıvısı arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sebebiyle hem serbest yüzey hem de krater aşınması meydana getirir. Kesme hızı yüksekse serbest yüzey aşınması baskındır. Kimyasal aşınmanın izleri diğer mekanizmalara göre pürüzsüzdür ve kolay fark edilir. Reaktif metallerin (Titanyum alaşımları gibi) işlenmesinde bu tarz aşınma mekanizmalarına rastlanır. Diğer yandan kesme sıvısındaki katkı maddeleri (serbest sülfür, klorlu EP gibi) ile de oluşabilir. Aslında EP katkıları adezif aşınmayı kontrol etmek amacıyla eklenir. Takım yüzeyi reaksiyon maddesiyle kaplanır ve abrazyon ile kolayca aşınabilir hale gelir. Kaplama veya malzeme değişimi ya da katkı maddelerini değiştirmek bu tip aşınmayı giderir.

Kaplamanın bu mekanizmalardan difüzyona, abrazif aşınmaya ve kimyasal aşınmaya etki edip azaltabileceğini ve takımın yüksek hızlarda kullanılabilirliğini artıracığını söyledik. Kaplamanın kendisi abrazyon ile aşınır. Kaplama kalkana kadar Şekil 2.16'da görüldüğü gibi aşınma miktarı daha az olacaktır.



**Şekil 2.16** Nikel Alaşımı İşleyen Bir Takımda Kaplama Aşınması [9]

Kaplamalar mekanik veya termal yorulma sebebiyle pul pul dökülerek ayrılabilir. Son yıllarda kaplama teknolojilerindeki gelişmeler ile bu tip yorulmaya bağlı aşınma seviyesi azaltılmış, ancak hala aralıklı(fasılalı) kesme işlemlerinde görülmektedir. Kaplama hataları, kaplama malzemesini, kalınlığını değiştirmek, kuru işlemek ve fasılalı kesmede çıkış açısını değiştirmek ile önlenir.

## 2.5 Aşınmada Takım ve İş Parçası Malzemesinin Önemi

Uygulamalarda aşınmanın en baskın hali bazı faktörlere bağlı olarak değişir, en önemlileri takım malzemesi, iş parçası malzemesi ve kesme hızıdır.

HSS takımlar çoğunlukla abrazyon sebebiyle, sık sık termal yumuşama ile, plastik deformasyonla, adezyon ve yığılma ağız oluşumlarıyla aşınır [9]. 540°C civarında HSS takımları sıcak sertlikleri aniden düşer, bu sıcaklıkları oluşturan kesme hızlarında ani abrazif aşınmalar ve plastik deformasyonlar görülür. Bu durum HSS takımların yumuşak çeliklerin işlenmesinde kesme hızlarını yaklaşık 35m/dak olarak sınırlar. HSS takımlara kobalt eklemek takımın sıcak sertlik sınırını yukarı çekerek daha yüksek kesme hızlarında çalışmasına olanak tanır (50 m/dak'ya kadar çıkabilir). Alüminyum ve diğer demir dışı metaller, genellikle 600°C'de ergiyen malzemeler, işlenirken, termal yumuşama her zaman takım ömrünü sınırlanamaz. Bu malzemeler için, iş parçası içindeki sert partiküller (örneğin Al-Si içindeki hiper-ötektik Si partikülleri ve meral matrisli kompozitlerdeki SiC fiberleri) sebebiyle abrazyon, yığılma ağız oluşumu, çapaklanma takım ömrünü sınırlar. Yığılma ağız oluşumu HSS takımlar için çok ciddi bir problemdir, çünkü takım malzemesinin majör bileşeni demir, nispeten yüksek kimyasal ilgi ve bu sebepten yüksek yapışma eğilimi olan yaygın bir malzemedir. HSS takımları TiN ile veya ince bir seramik filmiyle kaplamak abrazyona ve yığılma ağıza olan dirençlerini arttırarak, yüksek hızlarda çalışmalarına olanak tanır. HSS takımların temperleme sıcaklığı da aşınma direnci ve performansları üzerinde çok etkilidir. HSS takımlar genellikle difüzyon veya kimyasal aşınmanın önemsiz olduğu sıcaklıklara ulaşmadan önce termal yumuşamadan dolayı hurdaya ayrılırlar.

Sinterlenmiş tungsten karbür (WC) takımlar abrazyon, kenar kırılması, plastik deformasyon, difüzyon, oksidasyon ve kimyasal aşınmalar sebebiyle hurdaya ayrılır. Abrazyon genellikle iş parçasına sert parçacıkların dahil olması sebebiyle oluşur. Bununla birlikte karbür taneciğinin kazımalı aşınma sebebiyle dışarı çekilmesi, yumuşak metallerin işlenmesinde abrazyon oluşumuna yol açar. Abrazyon ve plastik deformasyon 700°C civarında hızlanır, birçok tanecikte sıcak sertliği sıcaklık seviyesi sebebiyle Şekil 2.15'de olduğu gibi hızla düşer. Her bir karbür taneciğinin sıcak sertliği, tanecik büyüklüğüne ve bağlayıcı içeriğine, belli noktadaki yüksek sıcaklıklarda daha efektif olan mikro tanecik yapısına bağlıdır. Düşük karbonlu çelikler ve dökme demirler için bu yükseklikte sıcaklıklar 100 m/dak üzerindeki kesme hızlarında gözlemlenir.



Kopma yaygın olarak iş parçası içindeki sertlikler sebebiyle ya da yetersiz sistem rijitliğinden doğan titreşimlerden dolayı oluşur.

Difüzyon aşınması, demir içerikli malzemeleri kaplamasız WC takımlarla işlerken, düşük karbonlu çelikler için 150 m/dak civarında gözlenen 750°C sıcaklıklarda gözlenir. Çeliğin karbona karşı yüksek ilgisi vardır. Difüzyon, WC takıma düşük miktarlarda TiN veya TaC eklenmesiyle, demir içindeki karbür fazının çözünebilirliğini azaltacağından, önlenir. Difüzyon, WC takımlarla dökme demir işlerken de gözlenebilir, ama 200 m/dak gibi daha yüksek hızlarda dökme demir kısa talaş oluşturacağından takım talaş ara yüzeyinde sıcaklık daha düşük olacak ve partiküller difüze olmaya ortam bulamayacaktır.

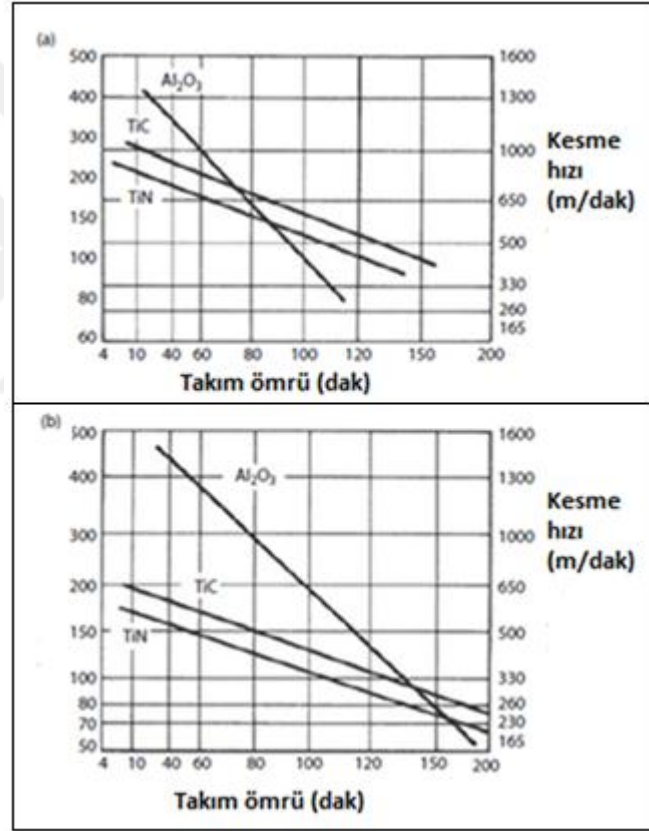
Kimyasal aşınma, iş parçasının veya kesme sıvısının reaksiyona girmesiyle oluşur [9]. Soğutucu ve yağlayıcı akışkanlar, özellikle kimyasal aşınmaya sebep olacak yüksek oranlarda serbest sülfür eklentileri içerir. Bu durumda takımdaki kobalt bağlayıcı sülfürle reaksiyona girerek hızlıca sistemden ayrılan kobalt sülfid bileşenini oluşturur. Bu aşınma mekanizmasını ortadan kaldırmak için serbest sülfür içeren kesme sıvıları değil de kimyasal olarak birleştirilmiş kesme sıvıları kullanılmalıdır. Yüksek reaktivliğe sahip titanyum alaşımları işlerken, içeriğinde karbon bulunan WC ve PCD takımlar reaksiyona girerek ani difüzyon aşınmasına sebep olan titanyum karbür ara katmanı oluşturabilir.

Oksidasyon aşınması da WC takımların içindeki kobalt bağlayıcısını hedef alır. Atmosferik oksijen takım-talaş ara yüzeyine nüfuz eder, evvela iş parçasının serbest yüzeyine etki ederek çentik aşınmasına sebep olur. Kesme işleminin iç kısmında oksidasyon kesme sıvısına hava dahil olmasından meydana gelebilir, çünkü kesme operasyonlarında kesme sıvısı mutlaka havalandırılarak çevrimi tamamlar. Oksijen birleştirici ile birleştiğinde WC partikülleri hızlıca zayıflamış takım matrisinden uzaklaşır. Oksidasyon aşınması, kimyasal aşınmanın diğer türlerinden, aşınma izlerinin renginin bozulması ile ayırt edilebilir. Bu tip aşınma genellikle 700°C altındaki sıcaklıklarda önemsizdir.

Kaplamalı WC takımları iki aşamalı bir aşınma prosesi gösterirler. Kaplama bozulmamışken sert parçalar sebebiyle oluşan abrazyon aşınması vardır. Aşınma miktarı kaplamasız takımlara göre daha düşüktür, çünkü termal yumuşama henüz belirgin değildir. Sonunda kaplama kabarıp dökülerek ve aşınarak kalkar. Bu durum en çok

frezeleme gibi fasıllı kesim işlemlerinde ortaya çıkar. Çünkü kaplamalı takımlar kaplamasızlara göre daha yüksek kesme hızlarında kullanılır. Difüzyon veya kimyasal aşınma sebebiyle hızlı krater oluşumunu genelde kaplamanın etkisiz kalması takip eder.

Kaplama ömrü kaplama malzemesine, kalınlığına ve kaplama biçiminde bağlıdır. En yaygın kaplamalar TiN(altın) ve  $Al_2O_3$ (siyah) kaplamalarıdır.  $Al_2O_3$  kaplamalar daha katı ve kimyasal olarak yüksek sıcaklıklarda daha karardır. Daha iyi krater aşınması direnci ve abrazyon direnci sağlar. Küresel grafitli dökme demir işlenmesinde tercih edilirler. Altın kaplamalar, sürtünmeyi azaltır. Bu sebeple kesme sıcaklıkları ve yüksek hızlarda serbest yüz aşınmaları azalır. Yüksek kesme hızlarında çelik işlemede daha uzun ömür sağlarlar.



**Şekil 2.17** a) 1045 Çeliği İşlenmesinde Farklı Kaplamalar Kullanılarak Üretilmiş Sinterlenmiş Karbür Uçların Gri Dökme Demirde Kesme Hızına Bağlı Takım Ömürleri  
b) 1045 Çeliği İşlenmesinde Farklı Kaplamalar Kullanılarak Üretilmiş Sinterlenmiş Karbür Uçların  $Al_2O_3$  Kesme Hızına Bağlı Takım Ömürleri [9]

Sermet takımlar(metal-seramik), WC takımlara benzer şekildeki mekanizmalarla aşınır. Abrazyon, plastik deformasyon, kenardan dökülme (çoğunlukla yığıma ağız ile birlikte),

difüzyon ve kimyasal aşınma ve difüzyona bağlı kesme derinliği çentiği sebepleriyle aşınır. WC takımlar için bahsedilenler sermet takımlar içinde uygulanabilir. Ancak seramik takımlar genelde kobalt yerine nikel bağlayıcı kullanılarak üretilir. Dolayısıyla kimyasal ve oksidasyon aşınmaları WC takımlara göre daha farklı olacaktır.

Genellikle TiC, TiN ve TiCN tabanlı malzemeler WC ile karşılaştırıldığında sıcak sertlik karakteristiğindedir. Yüksek sıcaklıklarda kimyasal olarak stabil, daha düşük kırılma dayanımına ve termal şok direncine sahiptirler. Çünkü yüksek kimyasal kararlılıkları vardır. WC takımlara nazaran daha yüksek hızlarda çalışırlar ve uygun şartlar altında daha iyi takım ömrü sağlarlar. Yüksek kesme hızlarının kullanımı, kenardan dökülmeye sebep olan ve düşük hızlarda takım ömrünü sert sermet uçlarda sınırlayan yığılma ağız oluşumunu da azaltır. Sebebi ise düşük kırılma dayanımlarıdır. Kenardan dökülme sermet uçlar için çok yaygın bir aşınma mekanizmasıdır. Pozitif talaş açısı kullanımı önlenerek ve pahlı veya honlanmış kenar kullanımı ile kontrol edilebilir. Kırılma endişesi, izin verilen kesme derinliğini sınırlar, kaba işlemlerde, fasıllı kesmede, sert çeliklerin imalinde çok uç kullanımı önlenir. Termal şoka bağlı çatlama, sermet uçlar kesme sıvısı ile kullanıldığında görülür. Bu mekanizmaya bağlı aşınmaları önlemek için kuru kesim yapılmalı veya bolca soğutma kullanılmalıdır.

Alüminyum oksit tabanlı seramik takımlar abrazif çentik ve serbest yüz aşınmasından, mekanik çatlama ile, plastik deformasyon ile, kenar dökülmesi ile, kitlesel kırılma ile, termal şok ile, difüzyon ile ve kimyasal aşınma ile aşınabilir.

Alüminyum oksit takımlar 1000°C üzerinde yüksek sertliğe sahiptir. Bununla birlikte dökme demirlerde, nikel tabanlı süper alaşımlarda, alüminyum silikon alaşımlarında 300m/dak kesme hızına kadar düşük abrazif aşınma ortaya koyar. Alüminyum oksit takımlar düşük termal şok dirençleri ve kırılma dayanımları sebebiyle çeliklerin yüksek hızlı işlenmesinde kısmen başarılı olabilmişlerdir. Polikristalin kübik bor nitrit (PCBN) takımlar bu uygulamalar için çok daha iyi bir seçenektir.

Küçük parçalar halinde dökülme ve kırılma, malzemenin gevrekliği sebebiyle alüminyum oksit takımlarda yaygındır. Bu durum malzemedeki sert içeriğin, düşük kesme hızlarındaki yüksek kesme derinliklerini yüksek kesme kuvvetleri ile karşılaşmasının, titreşimin, fasıllı kesmede uygun olmayan çıkış şartlarının veya yine fasıllı kesmede termal şokun bir sonucu olabilir. Titreşime bağlı kırılma, çok rijit takımlarla ve aparatlarla kesme derinliği sınırlandırılarak azaltılabilir. Alüminyum oksit

takımların kırılma dayanımı ve termal şok direnci  $ZrO_2$ , TiC, TiN veya SiC lifleri eklentisiyle artırılabilir ve türler fasıllı kesme için önerilmişlerdir. Bununla birlikte bu eklentiler takımın kimyasal kararlılığını düşürür. Sonuç olarak, alüminyum oksidin sertleştirilmiş türlerinin bile sınırlı termal şok direnci vardır. Alüminyum seramik takımlar kuru ve sürekli kesim için idealdir. Soğutma sıvılarının kullanımı her durumda termal çatlağa bağlı kırılmaya öncülük eder ve termal çatlama kuru olarak fasıllı kesmede de görülmüştür. Aşırı çentik ve serbest yüzey aşınması durumunda, bu şartlarda alınabilecek en iyi aksiyon genelde PCBN takıma dönmektir.

Alüminyum oksit  $1200^\circ C$  'ye kadar kimyasal olarak kararlıdır. Difüzyon ve kimyasal aşınma, çoğunlukla işlerken bu sıcaklıklara ulaşan çeliklerin imalatında gözlemlenir. Kimyasal kararlılık TiC, TiN ve SiC lifleriyle kuvvetlendirilmiş takımlar için önemli bir problemdir. Titanyum eklentileri yüksek sıcaklıklarda demir içinde çözünebilir ve cama benzer çabuk aşınan kırılğan bir yapı oluşturur. Benzer şekilde SiC lifleri yüksek sıcaklıklarda demirle birlikte reaksiyona girerek takım matrisinde kırılmaya sebep olabilecek boşluklar oluşturur. Sonuç olarak, eklentisiz takımlar kuvvetlendirilmiş takımlara nazaran çeliğin sürekli işlenmesinde daha iyi sonuçlar verir.

TiC ve TiN tabanlı seramikler, alüminyum oksit seramiklerine benzer mekanizmalarla aşınır. Temel farklılık bu malzemelerin demire yüksek ilgisidir. Bu sebeple, difüzyon ve kimyasal aşınma, demir esaslı metallerin işlenmesinde çok daha ciddi bir problemdir.

Silikon nitrid esaslı takımlar Alüminyum oksit tabanlı takımlara benzer mekanizmalarla aşınır. Temel farklılık bu malzemelerin demire karşı yüksek ilgileridir, dolayısıyla difüzyon ve kimyasal aşınma demir esaslı metallerin işlenmesinde daha önemli bir problemdir.

Sürekli kesme işlemlerinde,  $Si_3N_4$  takımları öncelikli olarak abrazif aşınma ile aşınır. Abrazyon malzeme içindeki sert içerikler sebebiyle, özellikle kum dökümde kum yapışması ve karbidin dahil olmasıyla veya termal yumuşama ile oluşabilir. Termal yumuşama  $Si_3N_4$  takımların sıcak preslenmesiyle  $900^\circ C$ 'nin üzerinde görülebilir. Çünkü sıcak preslenmiş takımlar, bu sıcaklıkta ergimeye başlayan cam gibi bağlayıcı fazları içerir. Bu sınırlama sıcak preslenmiş  $Si_3N_4$  takımları çelik ve nikel alaşımları için uygunsuz hale getirir. Bununla birlikte sinterlenmiş türleri bazı operasyonlar için uygundur.  $Si_3N_4$  bileşenlerinde ince CVD kaplamanın kullanımı, kimyasal ve abrazif aşınma direncini artırır ve bu sınırlamanın üstesinden gelmek için umut vadeder.

Fasılalı kesme işlemlerinde Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takımları genellikle kenardan dökülme veya kırılma ile hurdaya ayrılır. Yüksek kırılma dayanımları sebebiyle dökülme, alüminyum oksit esaslı takımlara göre daha az problemdir ve yuvarlatılmış veya honlanmış kesme kenarı ile kullanımlarda kontrol altına alınabilir.

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takımlar, silikonun alüminyum içindeki çözünebilirliği sebebiyle alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kullanılmaz. Benzer şekilde, titanyum alaşımlarında da titanyumun nitrojen ile tepkimeye girmesi sebebiyle kullanılmaz. Alüminyum oksit takımlarda olduğu gibi birçok Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> çeşidi düşük termal şok direncine sahiptir ve kuru olarak kullanılmalıdır.

Polikristalin kübik bor nitrid (PCBN) takımlar serttir ve yüksek sıcaklıklarda çok iyi termal şok direnci vardır, kimyasal olarak kararlıdır. Çoğunlukla abrazyon, kenardan dökülme kimyasal aşınma ve termal şok sebebiyle hurdaya ayrılırlar.

PCBN takımların yüksek sertliğe sahip olmaları sebebiyle, abrazyon aşınma miktarları düşüktür. Geleneksel dökme demirde, aşınma miktarı özellikle büyük burun radüsüne sahip takımlar için tahmin edilemez olabilir. Bu PCBN takımları motor silindir baralama işlemleri gibi hassas işler için çekici kullanılabilir. Bununla birlikte bu operasyonlar Silikon nitrid takımlar kullanılarak uygulanabilir, PCBN kullanımı önemli ölçüde yüksek takım ömrü sağlar.

Abrazyon aşınma miktarları, sertleştirilmiş demir, çelik bileşenleri, yüzeyi sertleştirilmiş demirler, kobalt ve nikel esaslı süper alaşımlar ve toz metalürjisi ile üretilmiş metallerin işlenmesinde daha yüksektir [9]. Bu uygulamalarda, abrazyon genellikle çentik aşınmasından daha fazla serbest yüzey aşınması oluşturur. Aşınma miktarı, termal olarak yumuşayan bağlayıcı madde ile kontrol altındadır. Abrazyon aşınma miktarları metalik bağlayıcılardan ziyade seramik bağlayıcılar kullanılmasıyla düşürülebilir. Finiş operasyonlarında sürekli kesim işlemlerinde soğutma kullanmakta bu aşınmayı düşürebilir. Kimyasal aşınma da PCBN takım kullanımında bağlayıcıya etki eder. Bu durum da seramik bağlayıcı kullanılmasıyla veya alüminyum oksit esaslı takım kullanımıyla çözülebilir.

Fasılalı kesme işlemlerinde kenardan dökülme çok yaygın bir aşınma şeklidir. Sürekli ve fasılalı kesmede görülebilen sistem rijitliğinin az olması veya titreşim sebebiyle özellikle sert demirleri ve çelikleri kesmede meydana gelir. Bu işlemlerde pozitif talaş açıları ve keskin köşeler engellenmeli, negatif açılar ve yuvarlatılmış kenarlar

kullanılarak daha iyi bir takım ömrü sağlanmalıdır. Termal şok da, eğer soğutma varsa termal çatlakların sonucu olarak fasıllı kesme işlemlerinde ortaya çıkar. Soğutmayı artırarak veya kuru keserek önlenabilir.

Seramik takımlarda olduğu gibi, yumuşak malzemeleri işlerken veya PCBN takımlarla düşük hızlarda çalışırken bunlara ek olarak farklı problemler ile de karşılaşılabilir. Bunlar yığma ağız oluşumu, haddinden fazla serbest yüzey aşınması, krater oluşumu, yontma aşınması ve kötü yüzey pürüzlülüğüdür. Ancak en ekonomik çözüm yüksek devir düşük ilerleme kullanmak ya da yumuşak malzemeler için karbüre veya sermet takımlara geçiş yapmaktır.

Polikristalin elmas takımlar (PCD) var olan en sert takımlardır ve çok iyi abrazif aşınma direnci sağlarlar. Magnezyum ve alüminyum silikon alaşımları gibi demir dışı metallerin işlenmesinde çok uygundur. Çünkü bu malzemeler düşük sıcaklıklarda erir ve düşük kesme basıncı oluşturduklarından takım ömrü aylarla ölçülerek yüksek hacimli üretim yapılmasını sağlar. Maksimum kesme hızları malzemeye göre değil, spindle'in sınırları ile belirlenir.

PCD takımlar, demirin karbona olan yüksek ilgisinden dolayı demir esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılmazlar. Yüksek kesme hızlarında elmastaki karbon, talaşa difüze olarak kenarın zayıflamasına ve kırılmaya sebep olur. Daha önce bahsedildiği gibi titanyum alaşımlarının işlenmesinde de titanyumun karbona olan yüksek ilgisi sebebiyle kullanılmaz.

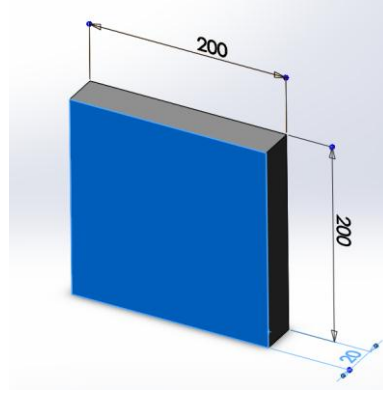
Deneysel çalışmanın amacı; frezelemede değişken kesme hızı ve ilerleme ile takım serbest yüzey aşınmasının incelenmesidir. Gerçekleştirilen deneylerde kesme hızının sabit ilerlemenin değişken olduğu, ilerlemenin sabit tutulup kesme hızının değiştirildiği ve her ikisinin de değiştirildiği durumlar incelenmiştir. Deneyler yapılırken kesme derinliği 2 mm olarak alınmış, aşınma kriteri ISO 3685 kriterlerine göre  $VB=0,3$  mm seçilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca yapılan deneylerde ilerleme ve kesme hızının değişimi her 4 mm işlemede bir değiştirilmiştir. Yani ilerleme aralığı 5 eşit parçaya ayrılarak 5 kademe yükseltip 5 kademe azaltılmıştır. İlk aşamada tüm deneyler her 4 mm' kesme boyu için bir kademe ilerleme veya kesme hızı değiştirecek şekilde planlanmıştır. Ayrıca değişken ilerleme ve değişken kesme hızı uygulamalarında literatürde rastlanmayan genlik ve frekans etkileri de incelenmiştir. Genlik ve frekans parametreleri deneylerin ilk aşamasında sabit tutulmuş ancak deneylerin ikinci aşamasında genlik ve frekans değişiminin sonuçlara olan etkileri gözlemlenmiştir.

Kesici takım üzerinde herhangi bir talaş kırıcı formu bulunmamaktadır. Deneylerden çıkan talaş formları da incelenerek sonuçlar belirlenmiştir.

### **3.1 Deney Malzemesi**

Yapılan deneyler Şekil.3.1'deki geometrik özelliklere sahip 1.2738 (40CrMnNiMo8-6-4) plastik kalıp çeliği malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Parçalar mengene çeneleri arasında sıkılarak tezgâha bağlanmıştır.



**Şekil 3.1** Deneyleerde Kullanılan 1.2738 Çelik Malzemenin Geometrik Özellikleri

Malzeme yapısal olarak Tablo 3.1’de görüldüğü üzere içeriğindeki elementler nedeniyle talaşlı işlenebilirliği iyi olan malzemelerdir. Yüksek yüzey kalitesi ve yüzey parlaklığı istenen durumlarda bu malzemelerin kullanımı büyük bir işleme kolaylığı sağlar.

**Tablo 3.1** İş Parçası Malzeme İç Yapı Özellikleri

Malzeme	Yüzde					
	Cr	Mn	Ni	Mo	C	Si
1.2738	1,90	1,50	1,00	0,20	0,40	0,30

Süzgünol [10] incelediği çalışmalarda bu tip malzemelerde kaba operasyonlar için kesme hızı ilerleme ve kesme derinliği değerlerinin genel bir aralığını belirlemiştir.



**Tablo 3.2** 1.2738 Malzeme İçin Genel İşleme Parametreleri [10]

Parametreler	Kaba İşleme
Kesme Hızı (mm/dak)	110-160
İlerleme (mm/dev)	0,3-0,6
Kesme derinliği (mm)	2-6

Bu deneysel çalışmada optimum parametreler ön deneyler yardımıyla belirlenmiş ve değişken devir ve ilerleme değerleri optimum parametreler etrafında seçilmiştir.

### **3.2 Deneyde Kullanılan Takım ve Kesici Uç**

Deneylerde Şekil 3.2’de görülen ARNO marka SPHN 120408 4 köşeli, talaş kırıcısız ve kaplamasız bir kesici uç kullanılmıştır.



**Şekil 3.2** SPHN 120408

Takım gövdesi olarak Ø32 takma uçlu özel yapım bir freze kullanılmış ve Şekil 3.3’de görülen BT-40 Veldon tipi bir tutucuya bağlanarak tezgâha bağlanmıştır.



**Şekil 3.3** Deneylerde Kullanılan Takım Gövdesi

### **3.3 Deneyde Kullanılan Tezgâh ve Cihazlar**

Deneylerde FIRST marka MCV-300 tipi CNC işleme merkezi kullanılmış olup tezgah üzerinde FANUC 0i Mate-MB kontrol paneli bulunmaktadır.



**Şekil 3.4** FIRST MCV-300 ve Deney Düzeneği

Geometrik ölçülendirme amacıyla INSIZE marka 0,01 hassasiyetli verniyerli bir kumpas kullanılmıştır. Aşınma ölçümlerinde SOIF marka mikroskop ile OLYMPUS RX10 mikrometre kullanılmıştır.



Şekil 3.5 SOIF Mikroskop ve OLYMPUS RX10 Mikrometre

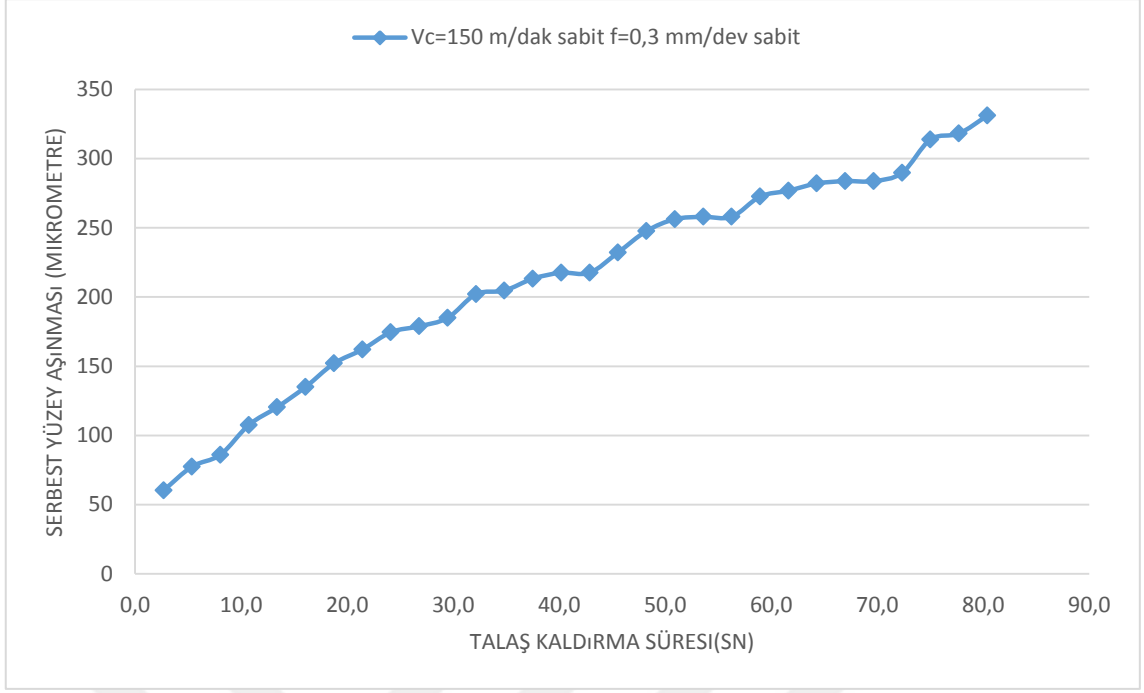
### 3.4 Ön Deneyler

Değişken kesme hızı ve değişken ilerlemenin aşınma üzerine etkisi incelenebilmesi için ön deneyler yapılmıştır. Bu yapılan ön deneyler sonucunda takım, tezgah ve iş parçası uyumu değerlendirilmiş ve prosesin aşınma grafiği elde edilerek optimum değerler belirlenmiştir.

Öncelikle sabit kesme hızı ve sabit ilerlemede deneyler yapılmış çıkan sonuca göre Tablo.3.3'te belirtilen parametrelerde optimum şartlarda ilk deney yapılmıştır. Bu şartlar altında yapılan ön deney sonucunda çıkan grafik Şekil 3.6'da belirtilmiştir.

Tablo 3.3 İlk Deney Parametreleri

Deney No.	Vc (m/dak)	ap (mm)	f (mm/dev)
1	150	2	0,3

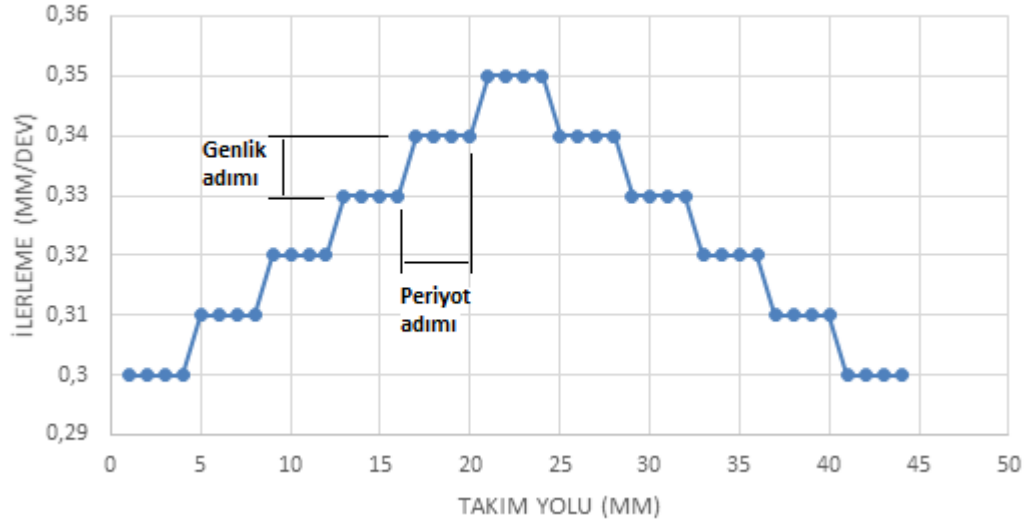


Şekil 3.6  $V_c=150$  m/dak,  $f=0,3$  mm/dev,  $a_p=2$  mm Şartlarında Elde Edilen Takım Aşınması

### 3.5 İlk Deneyler

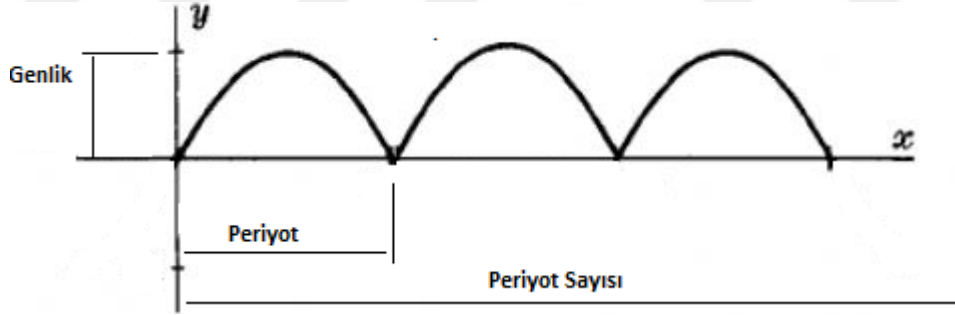
Ön deneyler bittikten sonra istenilen amaca yönelik parça programı yazılarak değişken parametrelili deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu çalışmalarda ilerlemenin nasıl değiştiği ile alakalı grafik Şekil 3.7’de verilmiştir.

### İLERLEMENİN DEĞİŞİMİ



Şekil 3.7 İlerlemenin Değişim Grafiği

Genlik ve periyotun daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla kavramlar, sinüs grafiği üzerinden açıklanmıştır. Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Frekans, Periyot ve Genlik Kavramları

Bu çalışmada ilerleme ve kesme hızı grafiklerinin değişimi için periyot, genlik ve periyot sayısı kavramları kullanılmıştır. Periyot, değişken parametrenin aldığı yol veya bir çevrim boyunca talaşa kaldığı süre olarak açıklanabilir. Periyot sayısı, takımın aşınana kadar kaç tam çevrim tamamladığı, genlik ise değişecek parametrenin hangi aralıklarda değiştiği biçiminde tanımlanabilir. Bu bilgiler ışığında sonuçlar belirtilen tanımlara bağlı olarak incelenecektir. İlgili hesaplamalar 3.1 ve 3.2 denklemleri ile belirtilmiştir.

$$\frac{\text{Genlik}}{y \text{ eksenindeki kademe sayısı}} = \text{Genlik adımı} \quad (3.1)$$

$$\frac{\text{Periyot}}{x \text{ eksenindeki kademe sayısı}} = \text{Periyot adımı} \quad (3.2)$$

Şekil 3.7’de verilen grafiğin kademeleri, genlik adımı ve periyot adımı olarak tanımlanabilir.

Bu alanda yapılmış çalışmalarda daha önceden göz önüne alınmayan frekans kavramına bağlı olarakda sonuçlar incelenmiştir. Deneylerin ilk setinde 44 mm olarak alınan periyot mesafesi, deneylerin ikinci setinde 22,44 ve 66 mm olarak alınmıştır. Frekans değerini veren denklemler aşağıda belirtilmiştir.

Deneylerin ortalama kesme hızı (m/dak) üzerinden giderek tabla ilerlemesi (mm/dak) değerine, oradan da periyot(mm) değerini, tabla ilerlemesine bölerek ulaştığımız saniye cinsinden değeri frekans olarak tanımladığımızda karşımıza aşağıdaki örnek hesaplamada (10 no’lu deney) görüldüğü gibi bir sonuç çıkmaktadır.

$$V_c \text{ ort.} = (170+160)/2 = 165 \text{ m/dak} = 165.000 \text{ mm/dak}$$

$$F_{\text{ort}} = (0,35+0,25)/2 = 0,3 \text{ mm/dev}$$

$$\text{Periyot} = 44 \text{ mm}$$

$$n(\text{devir}) = \frac{V_c * 1000}{\pi * d} = \frac{165 * 1000}{3,14 * 32} = 1642 \text{ dev/dak}$$

$$f_{\text{tabla}} = 1642 \text{ dev/dak} * 0,3 \text{ mm/dev} = 492,6 \text{ mm/dak}$$

Tabla ilerleme hızı, bu kesme şartlarında takımın bir dakikada aldığı yolu göstermektedir. Eğer 10 numaralı deneyde olduğu gibi bir periyotumuz 44 mm ise takımın bu 44 mm’lik çevrimi kaç saniyede aldığını bulabiliriz.

$$492,6 \text{ mm/dak} / 60 = 8,21 \text{ mm/sn. (Takımın 1 saniyede aldığı yol)}$$

$$8,21 \text{ (mm/sn)} / 44 \text{ (mm)}. = 0,186 \text{ 1/sn}$$

Bu sonuç 10 numaralı deneye ait periyot süresidir. Bu değer 1/sn olarak alınırsa frekans=0,186 1/sn olacaktır. Çalışmanın geri kalanındaki ifadeler bu kavramlar kullanılarak açıklanmıştır.

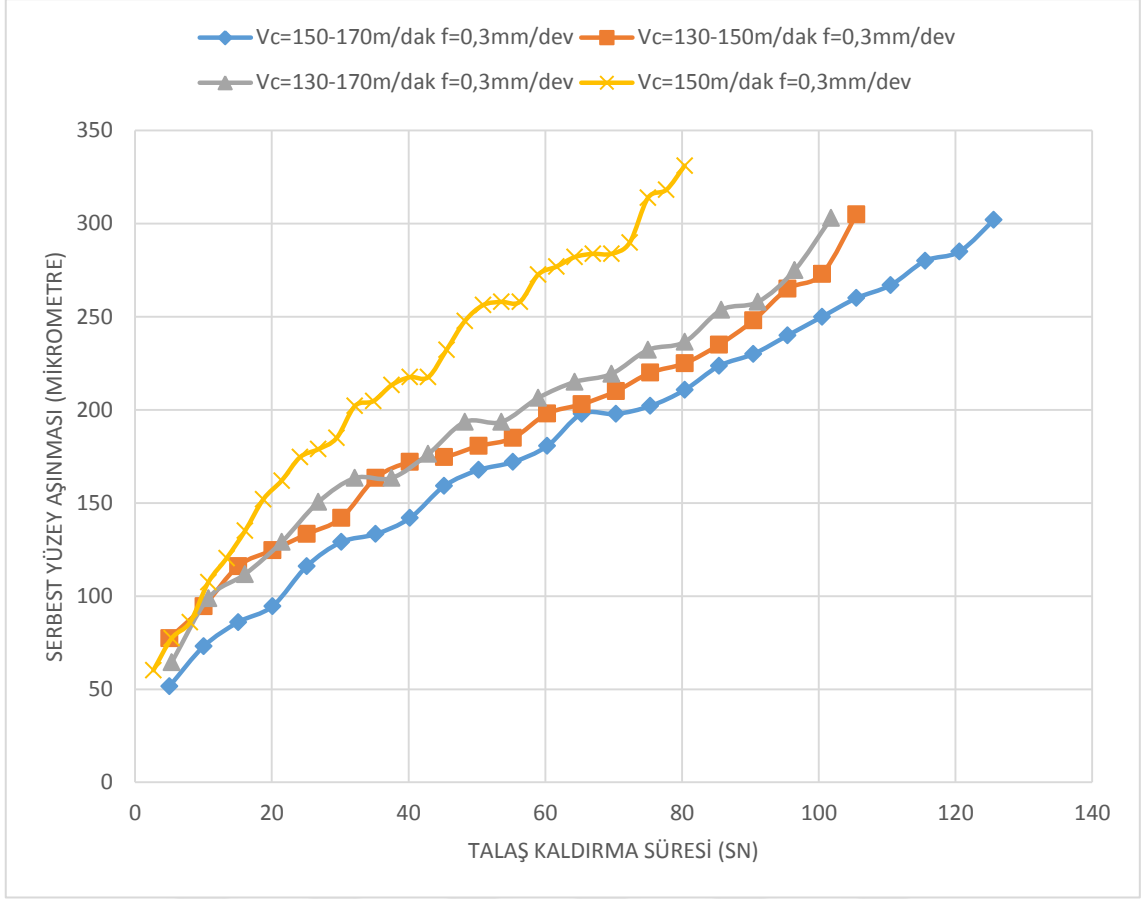
Şekil 3.7’de değişken ilerlemenin kademeleri arasındaki geçiş süreleri tezgah eksenlerindeki servo motorların sabit bir değerde çalışırken başka bir değere ani geçişindeki gecikmeleri belirtmektedir.

Değişken kesme hızı ve değişken ilerlemenin grafiksel olarak ifadesini çıkardıktan sonra, kesme hızının kendi içindeki değişimin etkilerini görebilmek amacıyla ilerlemenin sabit tutulduğu, yalnızca kesme hızının değiştirildiği deneyler ile çalışmaya devam edilmiştir. 2,3 ve 4 nolu deney parametreleri Tablo 3.4’te verilmiştir.

**Tablo 3.4** Değişken Kesme Hızı ile Yapılan Deneylerin Parametreleri

Deney No	Vc (m/dak)	ap (mm)	f (mm/dev)
2	130-150	2	0,30
3	150-170	2	0,30
4	130-170	2	0,30

Kesme hızının değiştiği ilerlemenin sabit kaldığı 2,3 ve 4 no’lu deney sonuçları Şekil 3.9’da belirtilmiştir.



**Şekil 3.9** Sabit İlerleme ve Değişken Kesme Hızlarında Takım Aşınması

Grafikte net bir biçimde görüldüğü üzere 1 nolu sabit parametreler ile yapılan deneyden çıkan aşınma sonucu diğerlerine göre kötüdür. Yalnızca değişken kesme hızı kullanmak takımın ömrünü yaklaşık 2 kat artırmıştır. En iyi sonucu,  $V_c=150-170$  m/dak,  $f=0,3$  mm/dev ve  $a_p=2$  mm şartarı ile yapılan 3 numaralı deney vermiştir.

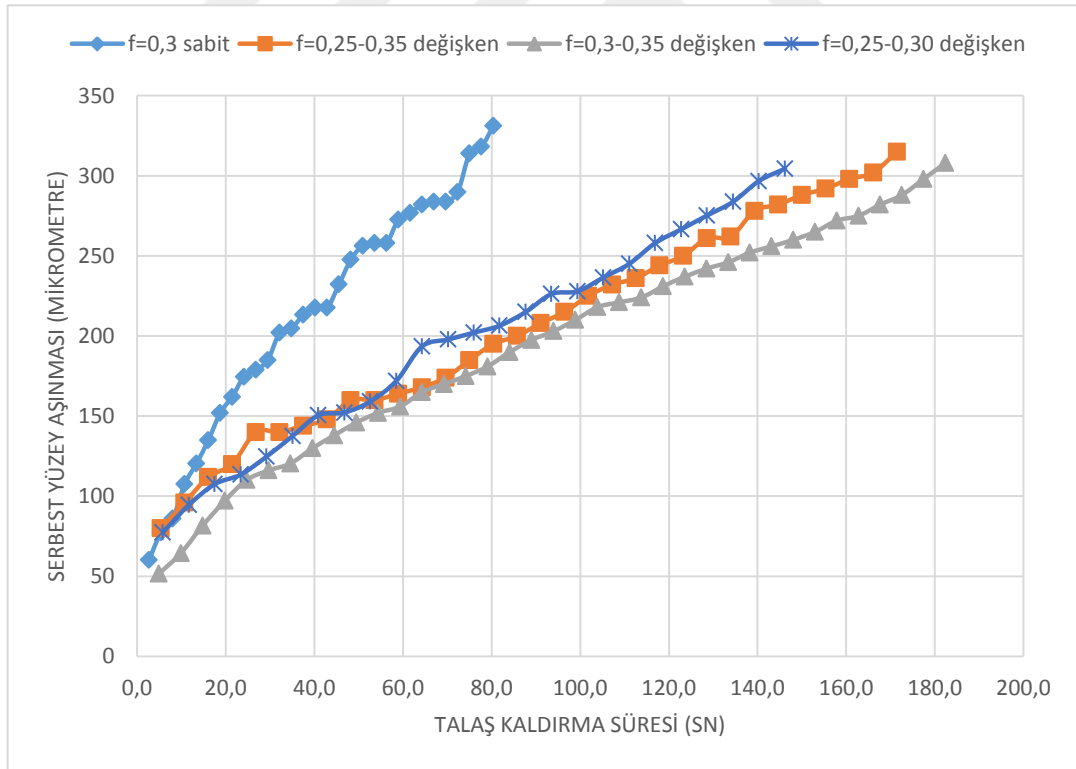
Sonraki aşamada kesme hızı sabit tutularak değişken ilerleme kullanılmış ve 5,6 ve 7 numaralı deneyler yapılmıştır. Deney parametreleri Tablo 4.5'te verilmiştir.



**Tablo 3.5** Değişken İlerleme ile Yapılan Deneylelerin Parametreleri

Deney No	Vc (m/dak)	ap (mm)	f (mm/dev)
5	150	2	0,25-0,30
6	150	2	0,30-0,35
7	150	2	0,25-0,35

Kesme hızının sabit tutulduğu ilerlemenin değiştirildiği deneylerin aşınma grafiği Şekil 3.10'da verilmiştir.

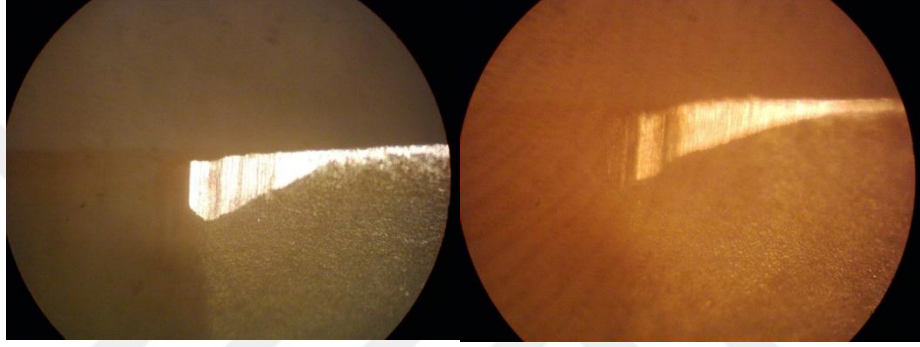


**Şekil 3.10** Sabit Kesme Hızı, ( $V_c=150$  m/dak) Değişken İlerlemede Takım Aşınması ve Sabit Kesme Hızı, Sabit İlerlemede Takım Aşınması

Şekil 3.10'daki grafikten görüldüğü üzere ilerlemenin değişimi de yaklaşık 2 kata yakın bir takım ömrü iyileşmesi sağlamıştır.

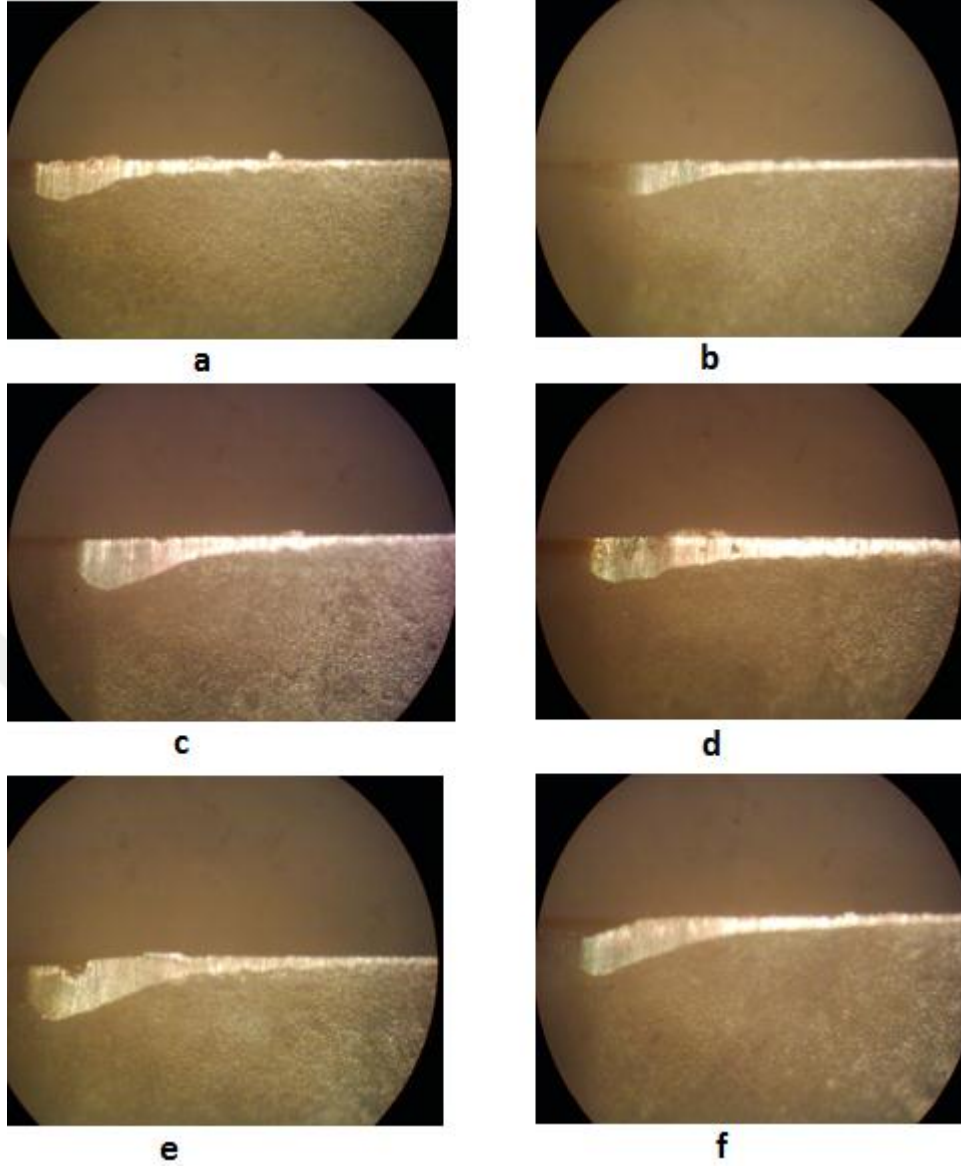
En iyi sonucu  $V_c=150$  m/dak,  $f=0,3-0,35$  mm/dev ve  $a_p=2$  mm şartları ile yapılan 6 numaralı deney vermiştir.

Bu deneyler esnasında takım serbest yüzey aşınmalarına ait fotoğraflar çekilmiş ve sabit parametrelerde olduğu gibi değişken parametrelerde de aşınmanın üniform ve stabil olduğu görülmüştür. Çekilen fotoğraflar Şekil 3.11'de görülebilir.



**Şekil 3.11** Sırasıyla Sabit ve Değişken İlerleme Aşınma Görüntüleri

2, 3 ve 4 numaralı deneylere ait serbest yüzey takım aşınmaları Şekil 3.12'de görülebilir.

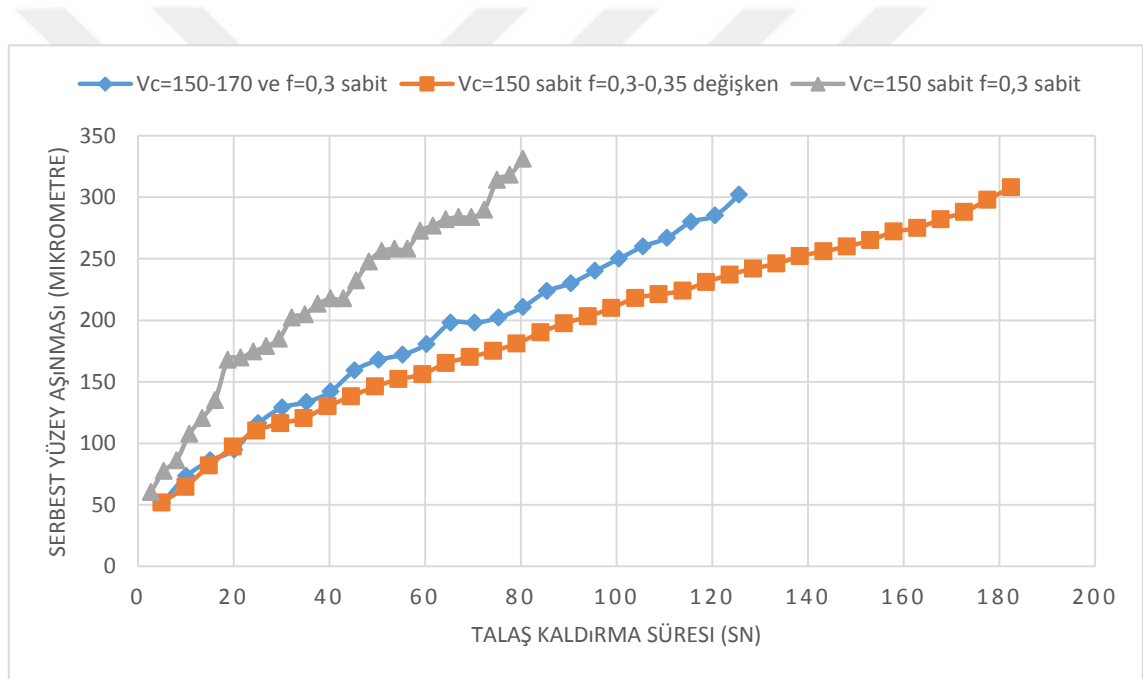


**Şekil 3.12** Deney Fotoğrafları, a)4 Nolu Deney, 280 mm Kesme Boyu, Aşınma=190 $\mu$ m, b)2 Nolu Deney, 280 mm Kesme Boyu, Aşınma=155 $\mu$ m, c)4 nolu deney, 480 mm Kesme Boyu, Aşınma=250 $\mu$ m, d)2 Nolu Deney, 480 mm Aşınma=225  $\mu$ m, e)4 Nolu Deney, 680 mm Aşınma=300 $\mu$ m, f)3 Nolu Deney, 680 mm Aşınma=223  $\mu$ m

Mikroskopla alınan görüntüler incelendiğinde Şekil 3.12f'de yer alan aşınma en üniform ve stabil olan aşınmadır. Bu resim 3 numaralı deneye yani değişken kesme hızı kullanılan  $V_c=150-170$  m/dak aralığına aittir. Şekil 3.9'de verilen grafik Şekil 3.12f'yi destekler niteliktedir. En iyi aşınma değerini veren  $V_c=150-170$  m/dak,  $f=0,3$  mm/dev ve  $ap=2$  mm değerleri ile yapılan 3 numaralı deneydir.

Kesme hızının sabit tutulduğu, yalnızca ilerlemenin değiştirildiği 5,6 ve 7 numaralı deneylerde sabit ilerlemeye göre sonuçların çok daha iyi olduğu Şekil 3.10'daki grafikten görülebilir. Bu deney setinde  $f=0,25-0,30$  mm/dev aralığında yapılan deneyin sonucunun iyi çıkması normal karşılanabilir. Çünkü ortalama ilerleme değeri düşüktür ve takım normalden yavaş çalışmaktadır. Ancak  $f=0,3-0,35$  mm/dev aralığında yapılan deneyin sonucunun diğerlerine göre daha iyi çıkması değişken ilerleme kullanımının takım ömrünü arttırdığını kanıtlar niteliktedir.

Bu sonuçların ışığında en iyi değişken kesme hızı grafiğini ve en iyi değişken ilerleme grafiğinin birbirlerine göre üstünlüklerini yorumlayabilmek amacıyla Şekil 3.13'deki grafik hazırlanmıştır.



**Şekil 3.13** Elde Edilen En Az Takım Aşınmasını Veren Değişken ve Sabit Kesme Parametrelili Aşınma Eğrileri

Grafikten de görülebileceği gibi yeşil eğri ile belirtilen deney sabit kesme hızı ve sabit ilerleme ile yapılan 1.deneye aittir. Mavi ile belirtilen eğri 3 numaralı deneye, kırmızı ile belirtilen eğri ise 6 numaralı deneye aittir. Açıkça görüldüğü üzere aşınma değerleri birbirine yakın olsa da ilerlemenin değişimi kesme hızının değişimine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Yapılan deneylerin frekansları Tablo 3.6'ya eklenmiş ve sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir. İlk aşama deneylerin tamamında periyot 44 mm olarak çalışılmıştır.

**Tablo 3.6** İlk Aşama Deneylerin Frekans Değerleri

Deney No	Vc (m/dak)	ap (mm)	f (mm/dev)	Frekans (sn)	Takım ömrü (sn)
2	130-150	2	0,30	0,158	105
3	150-170	2	0,30	0,181	125
4	130-170	2	0,30	0,169	102
5	150	2	0,25-0,30	0,155	146
6	150	2	0,30-0,35	0,183	180
7	150	2	0,25-0,35	0,169	166

Tablodan görülebileceği üzere takım ömrü en yüksek çıkan 6 numaralı deneyin frekansı da en yüksek çıkmıştır.

### **3.6 İkinci Aşama Deneyler**

Deneylerin ilk aşamasından sonra ikinci aşamaya geçilmiş, optimum değerler etrafında yapılan değişken parametrelili deneylerden edinilen veriler yardımıyla bu aralıklarda daha iyi sonuç vereceğini düşündüğümüz yeni aralıklar belirlenmiştir. Bu aşamadaki deneylerin yapılış amacı ilk aşamadaki deneylere göre daha iyi aşınma değerleri ortaya koyacak yeni parametrelerin ilk aşama deneylere göre belirlenip uygulanmak istenmesidir.

Yeni seçilen aralıklarda yapılan deneylerde hem değişken ilerleme, hem değişken kesme hızı, hem de periyot değerleri birlikte değerlendirilmiş ve aşınma üzerine yaptığı etki incelenmiştir.

Seçilmiş 3 farklı parametrenin ön ve ilk aşama deneylerden çıkan sonuçlara göre belirlenmiş değerler Tablo 3.7’de belirtilmiştir.

**Tablo 3.7** İkinci Aşama Deney Parametreleri

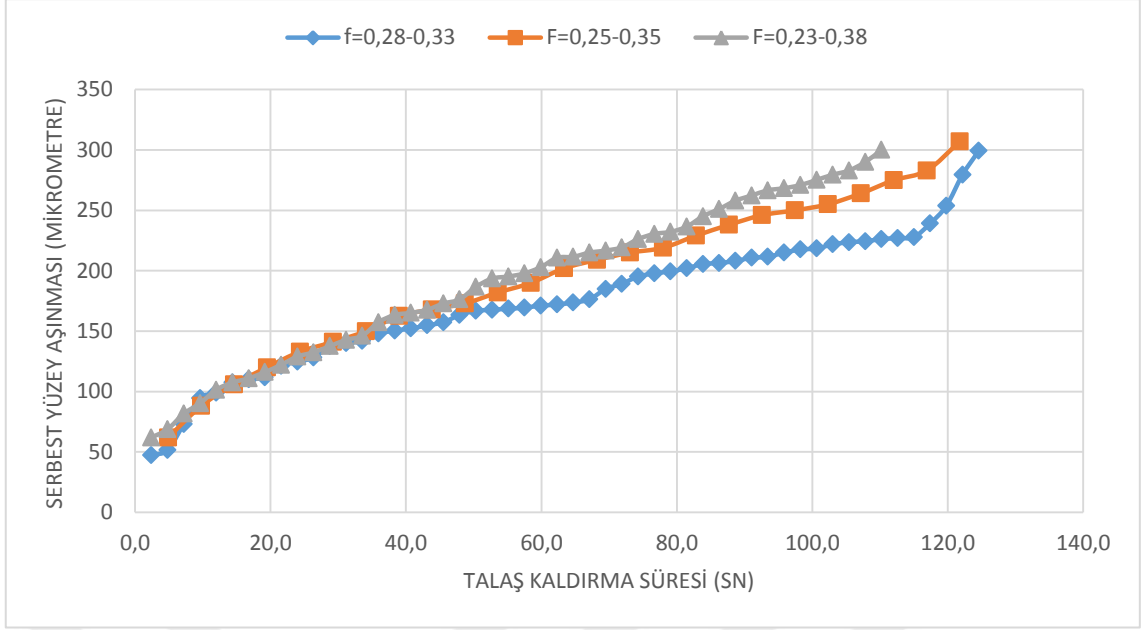
Parametreler	1	2	3
Kesme Hızı (m/dak)	160-170	150-170	140-170
İlerleme (mm/dev)	0,28-0,33	0,25-0,35	0,23-0,38
Periyot(mm)	22	44	66

Tablo 3.7’deki verilerin ışığında deney matrisi oluşturularak Tablo 3.8’de gösterilen şekilde yapılacak deneyler belirlenmiştir.

**Tablo 3.8** Deney Matrisi

Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Periyot (mm)
9	160-170	0,28-0,33	22
10	160-170	0,25-0,35	44
11	160-170	0,23-0,38	66
12	150-170	0,28-0,33	44
13	150-170	0,25-0,35	66
14	150-170	0,23-0,38	22
15	140-170	0,28-0,33	66
16	140-170	0,25-0,35	22
17	140-170	0,23-0,38	44

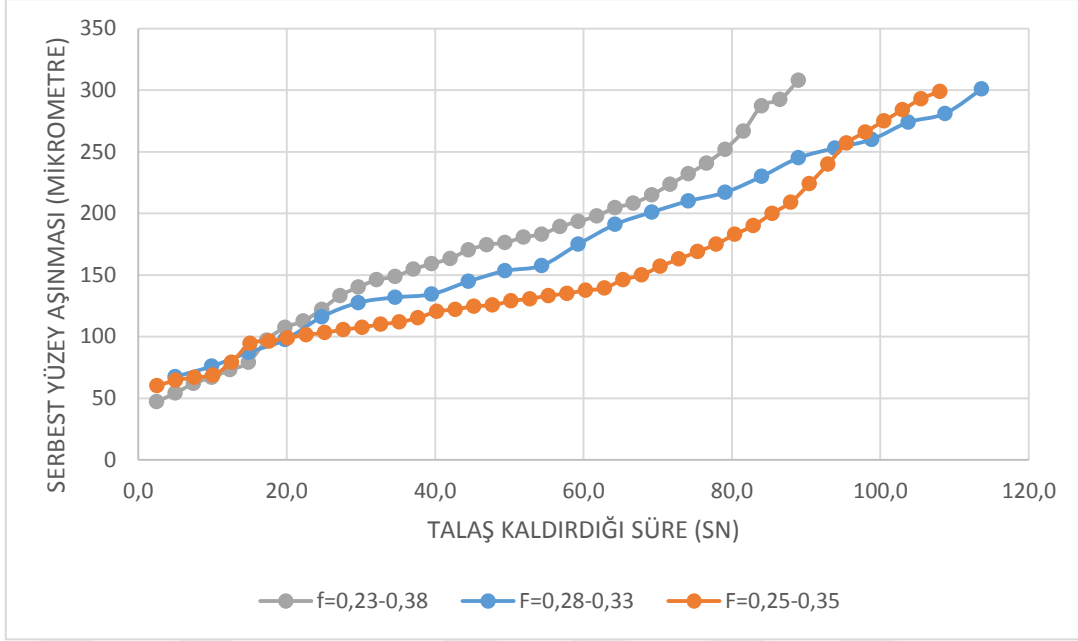
İkinci aşamadaki 9 deney yapıldıktan sonra çıkan sonuçlar öncelikle kendi içlerinde gruplanarak incelenmiştir. Şekil 3.14’de 9, 10 ve 11 numaralı deneyler birlikte değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.14** Kesme Hızı 160-170 m/dak Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri

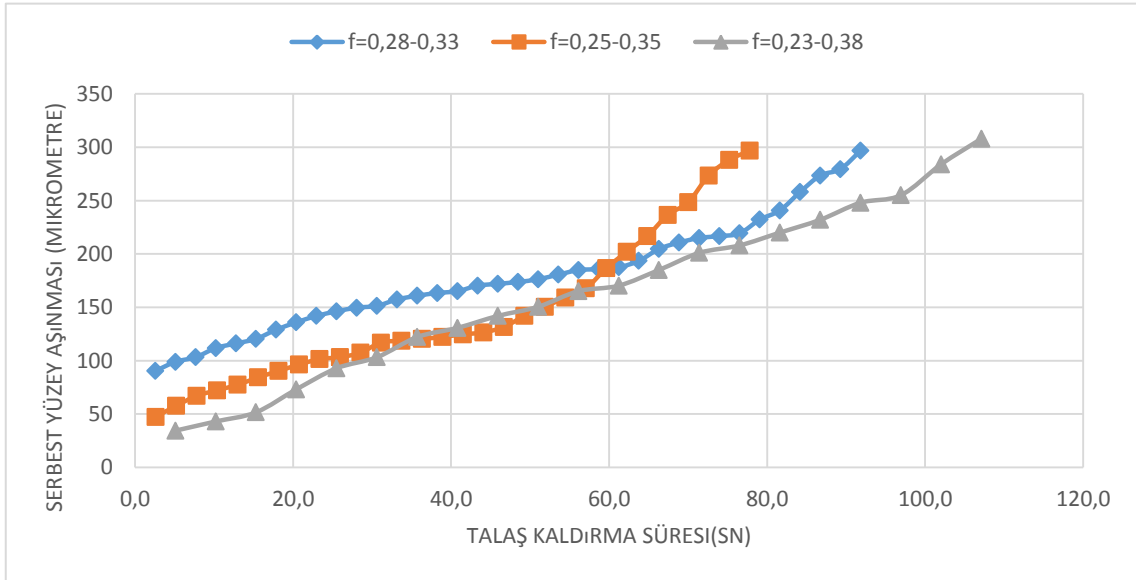
Değişken ilerlemenin en iyi sonucu genliği en düşük  $V_c=160-170$  m/dak kesme hızında,  $f=0,28-0,33$  mm/dev ilerlemede periyot=22 mm değerleri ile yapılan 9 numaralı deney vermiştir. Aynı grafik 12, 13 ve 14 numaralı ve 15, 16 ve 17 numaralı deneyleri için de gruplandırarak yapılmıştır. Şekil 3.15 ve 3.16'da görülebilir.





**Şekil 3.15** Kesme Hızı 150-170 m/dak Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri

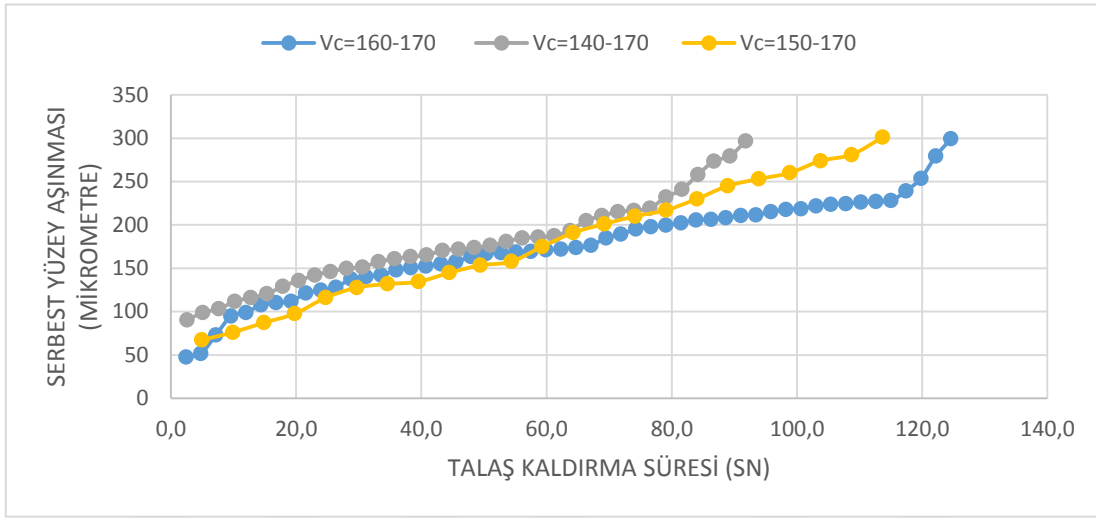
Kesme hızının 150-170 m/dak aralığında üç farklı ilerleme genliği için yapılan 12, 13 ve 14 numaralı deneylerde  $f=0,28-0,33$  genlik aralığı en iyi takım aşınması performansını göstermiştir.



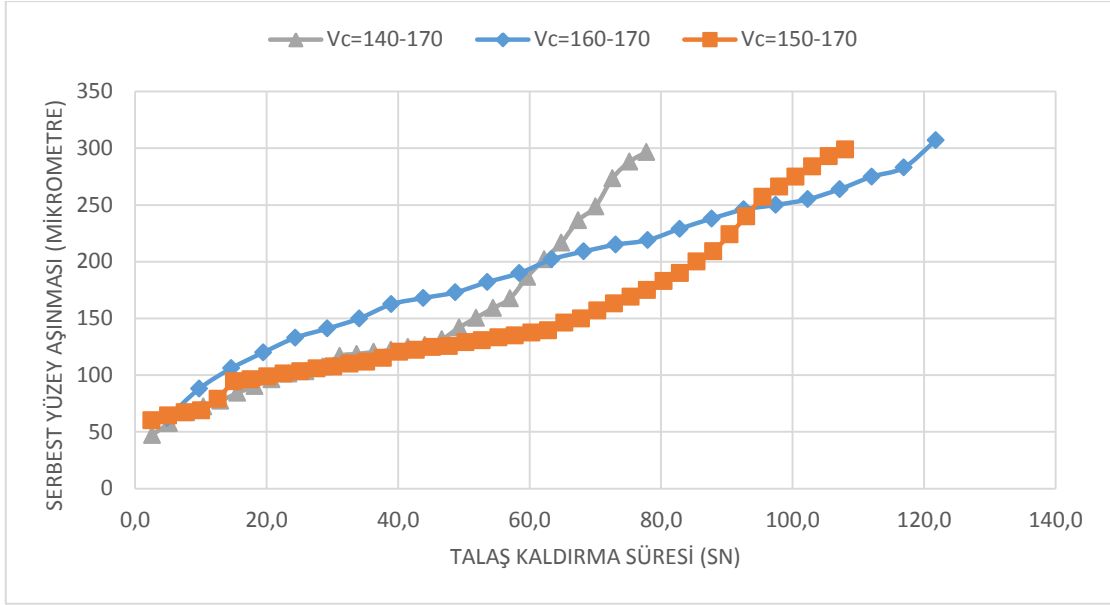
**Şekil 3.16** Kesme Hızı 140-170 m/dak Genliği İle Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri

Şekil.3.14, 3.15 ve 3.16 birlikte ele alındığında  $V_c=160-170$  m/dak genliği için  $f=0,28-0,33$  mm/dev genliği,  $V_c=150-170$  m/dak genliği için  $f=0,28-0,33$  mm/dev genliği, öte yandan  $V_c=140-170$  m/dak genliği için ise  $f=0,23-0,38$  mm/dev genliği en yüksek takım ömrünü vermiştir.

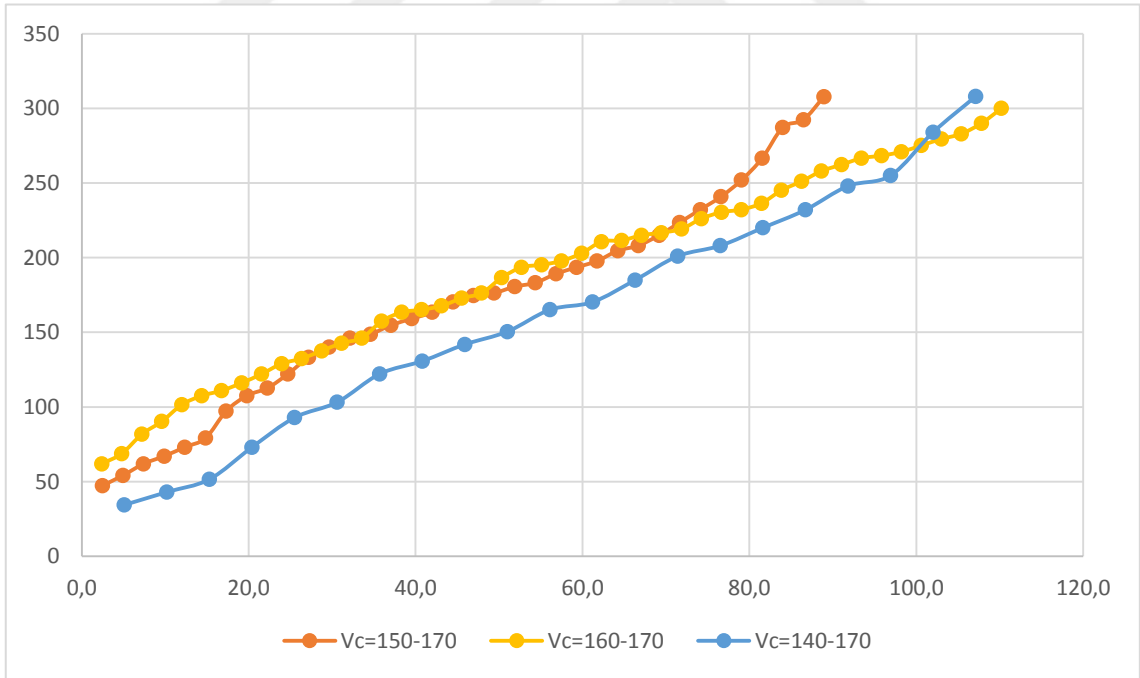
İlerleme değerlerini yine kendi içinde karşılaştırdığımızda ise Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19'daki grafikler elde edilmiştir.



**Şekil 3.17** İlerleme 0,28-0,33 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri



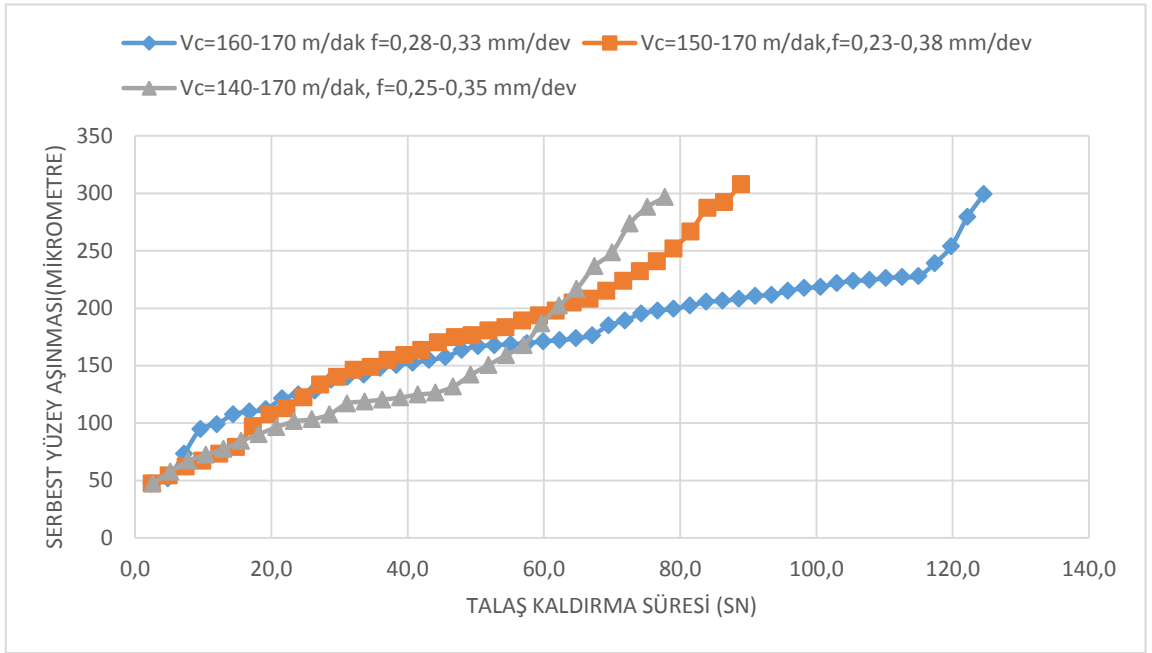
**Şekil 3.18** İlerleme 0,25-0,35 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri



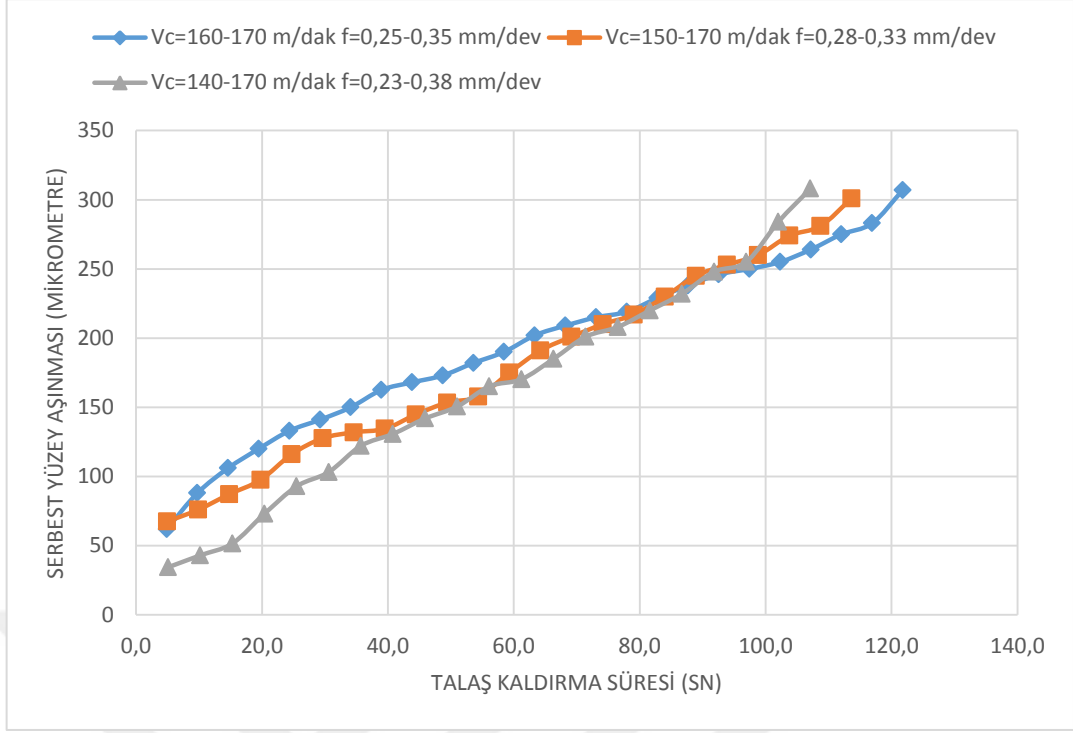
**Şekil 3.19** İlerleme 0,23-0,38 mm/dev Genliğinde Yapılan Deneylerin Aşınma Grafikleri

Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19 birlikte değerlendirildiğinde değişken kesme hızlarına göre değişken ilerlemelerin değerlendirme sonucuna benzer şekilde değişken ilerlemenin en yüksek genliği için, değişken kesme hızının en küçük genliği; değişken ilerlemenin en küçük genliği için ise değişken kesme hızını en küçük genliği en iyi sonucu vermiştir.

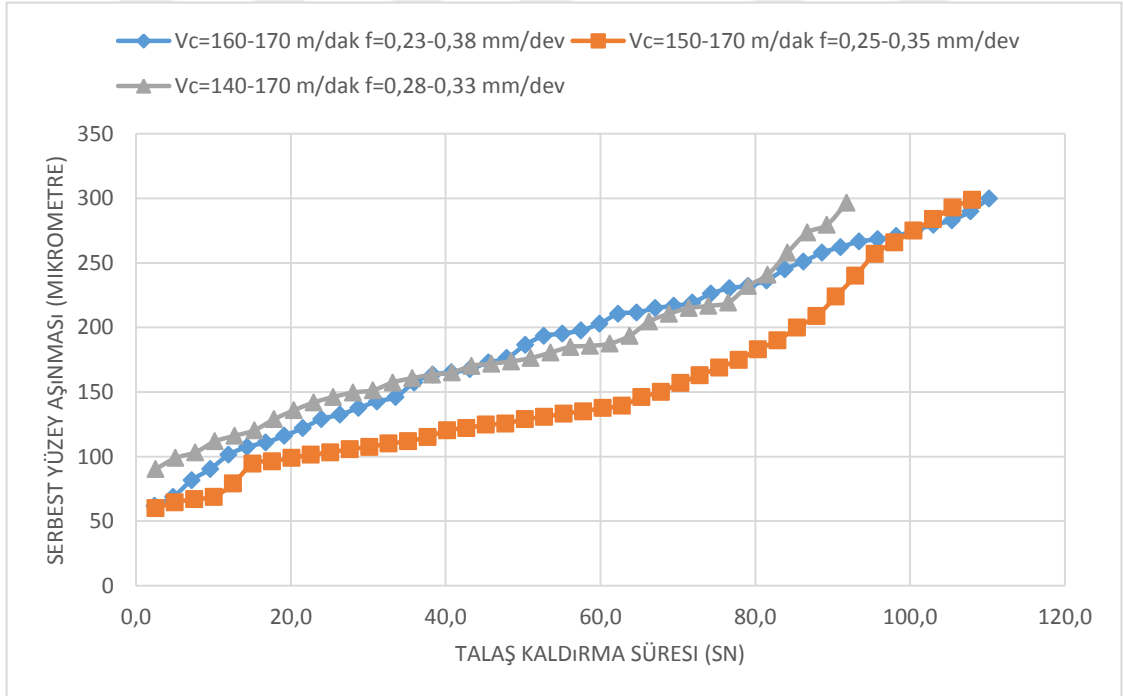
Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22’de periyot değerlerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.20 Periyot 22 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği



Şekil 3.21 Periyot 44 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği

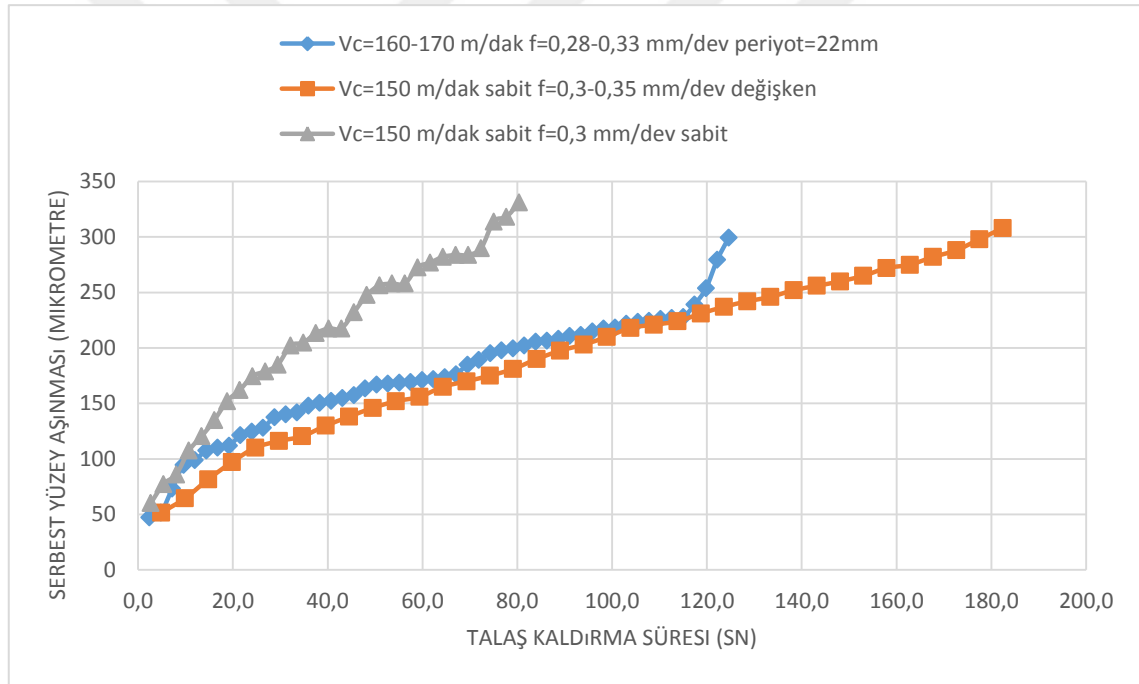


Şekil 3.22 Periyot 66 mm Değerinde Aşınmaların Grafiği

Periyot değerlerinin aşınmalar üzerinde etkili olduğu grafiklerden anlaşılabilir. En iyi aşınma sonuçlarını periyot değeri 22 mm olan deneyler vermiştir.

2.set deneylerin hepsi birlikte incelendiğinde değişken kesme hızı ve ilerleme aralıklarında orta değerini yani  $V_c=160-170$  m/dak,  $f=0,28-0,33$  mm/dev, periyot=22 mm parametreleri ile 9 numaralı deney en iyi sonucu vermiştir. Takım bu parametrelerle 0,3 mm limit aşınmaya en geç ulaşan takımdır.

Deneylerin ilk setinde çıkan en iyi sonuçlar ile ikinci setin en iyi sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla Şekil 3.23'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 3.23 Birinci ve İkinci Set Deneylerdeki En İyi Sonuçlar

Şekil 3.23'de görülen grafikte değişken ilerlemenin ve değişken kesme hızının en büyük genliklerinde (mavi eğri) aşınma sabit parametrelere göre iyi bir performans sergilemiş olsa da kesme hızının optimumda sabit olduğu değişken ilerlemenin  $f=0,3-0,35$  mm/dev genliğinde (kırmızı eğri) takım ömrünün daha uzun olduğu görülebilmektedir.

Deneylerin ikinci bölümünde kullanılan Tablo.3.8, çalışmanın bu kısmında, bölüm 3.5'te bahsedilen frekans değeri ve takımların VB=0,3 mm limit aşınmaya ulaştıkları çalışma süresi eklenerek Tablo 3.9'da tekrar verilmiştir.

Ayrıca talaş hacmi de hesaplanmış ve birim zamanda kaldırılan talaşın hacmi deney parametrelerine göre belirlenmiştir.

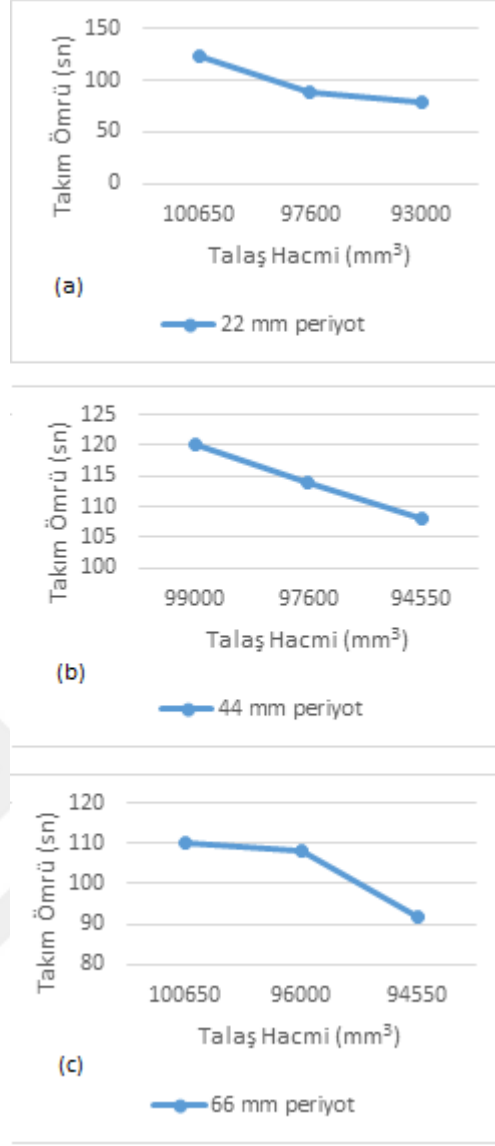
$$\text{Ortalama Talaş Hacmi } (v_{ort}) \left[ \frac{mm^3}{dak} \right] = V_{c \text{ ort}} \left[ \frac{mm}{dak} \right] * a_p [mm] * f_{ort} \left[ \frac{mm}{dev} \right] = \frac{mm^3}{dak} \quad (3.3)$$

**Tablo 3.9** Deneylerin İkinci Bölümü İçin Çalışma Sonuçları

Deney No	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Periyot (mm)	Talaş Hacmi (mm <sup>3</sup> /dak)	Frekans (1/sn)	Takım Ömrü (sn)
9	160-170	0,28-0,33	22	100650	0,380	124
10	160-170	0,25-0,35	44	99000	0,186	120
11	160-170	0,23-0,38	66	100650	0,126	110
12	150-170	0,28-0,33	44	97600	0,183	114
13	150-170	0,25-0,35	66	96000	0,120	108
14	150-170	0,23-0,38	22	97600	0,367	89
15	140-170	0,28-0,33	66	94550	0,118	92
16	140-170	0,25-0,35	22	93000	0,350	78
17	140-170	0,23-0,38	44	94550	0,178	108

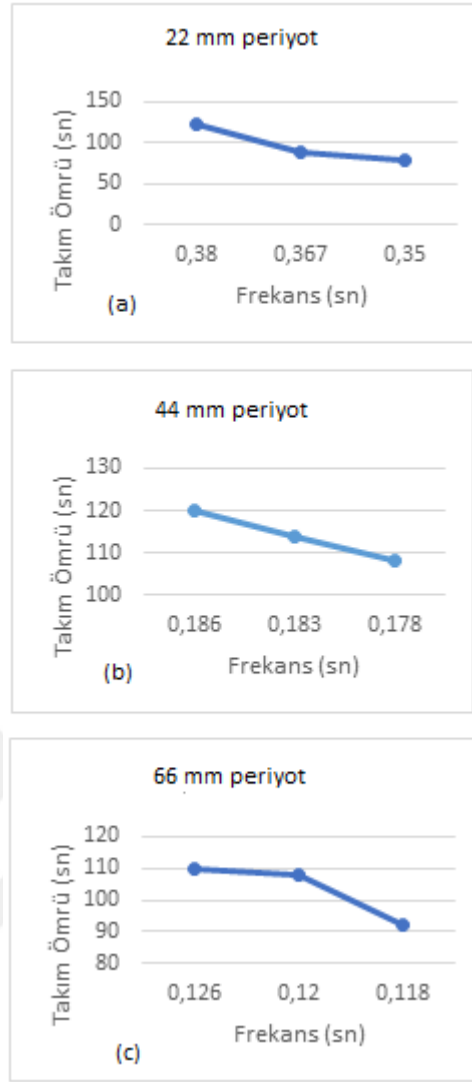
Tablo 3.9’da yer alan talaş hacmi değerlerine göre aşınma grafikleri çizdirildiğinde, birim zamanda kaldırılan talaş hacmi arttıkça takım ömrünün arttığı görülebilir. Grafikler Şekil 3.24’te görülebilir.





**Şekil 3.24** Farklı Periyotlardaki Aşınma Değerlerinin Talaş Hacmine Göre Değişimi;  
a)22 mm periyot, b)44 mm periyot, c)66 mm periyot

Benzer şekilde periyotları kendi içinde gruplayarak, deneylerin frekans değerleri incelendiğinde frekansın artmasıyla takım ömrünün arttığı görülecektir. İlgili grafikler Şekil 3.25'te verilmiştir.



**Şekil 3.25** Frekans Değişimine Göre Takım Ömürleri; a)22 mm periyot, b)44 mm periyot, c)66 mm periyot

Değişken kesme hızı kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde frekans azaldıkça kesici takım aşınması artmakta, takım ömrü azalmaktadır.

Değişken ilerleme kullanılarak yapılan frezeleme işlemlerinde frekans azaldıkça kesici takım aşınması artmakta, takım ömrü azalmaktadır.

Önceden yapılan değişken parametreleri çalışmaları destekler nitelikte olarak, sabit parametrelili talaşlı imalata göre değişken parametrelili imalat daha iyi sonuç verir. Genel olarak çalışmadaki tüm deneyler incelendiğinde takım ömründe ortalama %50 iyileştirme sağlanmıştır.

Değişken ilerleme, değişken hıza göre daha iyi sonuç vermektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda hangi parametrenin, kesici takım ömrüne daha fazla etki ettiği araştırılabilir.

Hem değişken kesme hızı hem de değişken ilerlemenin birlikte kullanıldığı deneylerde frekans arttıkça takım aşınması azalmakta takım ömrü artmaktadır. Frekans için bahsedilen kural burada da geçerlidir.

Tüm deneylerde frekans aynı 22 mm,44 mm ve 66 mm periyotlar için alınmış ve sonuçlar buna göre analiz edilmiştir. Farklı periyotların frekansları karşılaştırıldığında frekans için bahsedilen kural cevap vermemektedir.

Değişken parametrelerle talaş kaldırma işleminde hem kesme hızını hem de ilerlemeyi birlikte değiştirmek, sadece kesme hızını veya sadece ilerlemeyi değiştirmeye göre takım ömrü açısından iyi sonuç vermemektedir.

Ulaşılan sonuçlar, literatür ile karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalara ek olarak frekans tanımı yapılmış ve bu çalışmada değerlendirilmiştir.

Sanayide yaygın olarak kullanılmayan bir yöntem olmasına rağmen son yıllarda takım tezgahı üretici firmaların NC kod yazılımlarına gömülü olarak değişken parametre ile talaş kaldırma yöntemi kullandıkları bilinmektedir.

Endüstriyel açıdan bakıldığında yöntemin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

- [1] T. R. Lin ve R. F. Shyu, , “Improvement of Tool Life and Exit Burr using Variable Feeds when Drilling Stainless Steel with Coated Drills,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 16, no. 5, pp. 308–313, 2000.
- [2] M. Balazinski, V. Songmene ve L.Kops, “Improvement of Tool Life through Variable Feed Milling of Inconel 600,” *Annals of the CIRP* vol. 44, no.1, pp. 55-58, 1995.
- [3] U. Emiroğlu, Y. Özsoy ve E. Altan, “Chip Breaking with Variable Feed in Turning,” in *8th International Symposium on Machining*, 2017, pp. 85-100.
- [4] M. Balazinski ve Ch. Mpako, “Improvement of Tool Life Through the Use of Discrete Feed Rates During Machining of 4140 Steel,” *Machining Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 1-13, 1999.
- [5] M. Balazinski ve E. Ennajimi, “Influence of Feed Variation on Tool Wear When Milling Stainless Steel 17-4Ph,” *Journal of Engineering for Industry*, Vol 116, pp. 516-520, 1994.
- [6] Z. Klim, E. Ennajimi, M. Balazinski ve C. Fortin, “Cutting tool reliability analysis for variable feed milling of 17-4PH stainless steel,” *Wear*, vol. 195, pp. 206-213, 1995.
- [7] T. R. Lin, “Cutting Behaviour Using Variable Feed and Variable Speed When Drilling Stainless Steel with TiN-Coated Carbide Drills,” *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, vol. 19, pp. 629–636, 2002.
- [8] K. Jemielniak, M. Szafarczyk ve J. Zawistowski, “Difficulties in Tool Life Predicting When Turning with Variable Cutting Parameters,” *Annals of the CIRP* vol. 34, no. 1, pp. 113-116, 1985.
- [9] D. A. Stephenson ve J. S. Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice Third Edition*, 2016.
- [10] M. Süzgünol ve Y. Kayır, “DIN 1.2311 ve 1.2738 Kalıp Çeliklerinin İşlenebilirliği,” *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 2012, pp. 132-142.
- [11] Milton C. Shaw, *Metal Cutting Principals Second Edition*, 2005.
- [12] A. Oral, M. C. Çakır ve T. Türkmen, “Tornalamada Değişken İlerlemenin Başlangıç Aşınmasına Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi,” *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 2012, pp. 463-473.
- [13] P. Albertellia, V. Mussib, C. Ravasioc ve M. Monnoa, “An Experimental Investigation of the Effects of Spindle Speed Variation on Tool Wear in Turning,” *Procedia CIRP*, vol. 4, pp. 29 – 34, 2012.

## Tezden Üretilmiş Yayınlar

---

İletişim Bilgisi: orkunisleyen14@gmail.com

### Kongre Bildirileri

- [1] O. M. Isleyen, U. Emiroglu ve E. Altan, "Influence of Variable Cutting Speed on Tool Wear In Milling 1.2738 Steel," Ejons Congress, 2019, pp. 229-236.

