

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESME PARAMETRELERİ VE KAPLAMA TABAKASININ
TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNE ETKİLERİ

İlker DEMİRAYAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESME PARAMETRELERİ VE KAPLAMA TABAKASININ
TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNE ETKİLERİ

İlker DEMİRAYAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11.05.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M.Cemal ÇAKIR
(Danışman)

Prof. Dr. Emin Güllü

Prof. Dr. Recep EREN

ÖZET

Bu çalışmada kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği) ve kesici takım kaplama tabakasının, kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınması ve iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır..

Otomotiv yan sanayisinde özellikle kalıp sektöründe yoğunlukla kullanılan soğuk iş takım çeliklerinden, DIN 1.2738 (AISI P20) çeliği farklı kaplama tabakasına sahip kesici uçlarla farklı kesme parametrelerinde işlenmiş ve bu işlemler sonunda farklı kaplama tabakalarının işleme etkileri değerlendirilmiştir. Kullanılan kesici uçlardan ISCAR IC 9007, T(C,N)+ Al₂O₃ + TiN ve ISCAR IC 907 TiAlN kaplama tabakalarıyla kaplanmış olup orta talaş işlemleri için tavsiye edilen, ISO CNMG 120408 tip uçlardır.

İncelemeler sonrasında TiAlN kaplamalı uçların T(C,N)+ Al₂O₃ + TiN kaplamalı uçlara göre hem kesici kenarda meydana serbest yüzey aşınmasında hem de iş parçası yüzey kalitesi üzerinde çok olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Kesici Takım, Kesme Parametreleri, Kaplama Tabakası, Serbest Yüzey Aşınması, Yüzey Pürüzlülüğü

ABSTRACT

In this study, the effects of the cutting parameters (cutting speed, feed rate, depth of cut) and coating layer onto the flank wear and surface quality of the product have been investigated.

Of the cold work steels that are used in the automotive industry, especially in die making industry, DIN 1.2738 (AISI P20) has been machined with various cutting parameters using two different cutting tools, each having the same microstructure but different coating layers. After these operations, the effects of the coating layers were evaluated. The coating layer is T(C,N)+ Al₂O₃ + TiN for ISCAR IC 9007 and TiAlN for ISCAR IC 907, and are of the ISO CNMG 120408 type inserts that are recommended for semi-rough operations.

As the results of the experiments, it was observed that TiAlN coated inserts have positive effects on the flank wear and surface quality, compared to the T(C,N)+ Al₂O₃ + TiN coated inserts.

Keyword:

Cutting Tool, Cutting Parameters, Coating Layers, Flank Wear, Surface Roughness

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
İÇİNDEKİLER	III
SİMGELER	VII
ŞEKİLLER.....	IX
TABLolar	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Takım Ömrü	2
2.2. Serbest Yüzey Aşınması ve Takım Ömrü İlişkisi	3
2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün incelenmesi.....	4
3. TALAŞ KALDIRMA MODELİ	6
4. TALAŞ OLUŞUMU	12
4.1. Giriş	12
4.2. Talaş Oluşumu	15
5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ ve KAPLAMALARI	21
5.1. Giriş	21
5.2. Sinterlenmiş Karbür	24
5.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması	26
5.4. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler	28
5.5. Kaplamalar ve Kaplama Teknolojileri	29
5.5.1. ETA Fazı	31
5.5.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)	33
5.5.3. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)	34

5.6. Kaplamalar ve Özellikleri	39
6. TAKIM ÖMRÜ.....	42
6.1. Giriş	42
6.2. Takım Ömrü	43
6.3. Taylor Takım ömrü Denkleminin Elde Edilmesi	45
7. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA.....	48
7.1. Giriş	48
7.2. Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları.....	49
7.2.1. Abrasiv Aşınma	50
7.2.2. Difzyon Aşınması.....	51
7.2.3. Oksidasyon Aşınması.....	52
7.2.4. Yorulma Aşınması	52
7.2.5. Adeziv Aşınma	53
7.3. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri	54
7.3.1. Serbest Yüzey Aşınması	54
7.3.2. Krater Aşınması	55
7.3.3. Plastik Deformasyon	55
7.3.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu.....	56
7.3.5. Isıl Çatlaklar	56
7.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları	57
7.3.7. Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme)	57
7.3.8. Kesici Kenarın Kırılması	58
7.3.9. Yiğma Kenar	58
7.4. Aşınmanın Oluşumu	59
7.5. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması.....	61

7.6. Kesici Takımlarda Kırılma Öncesi Davranışlar	64
7.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi	65
8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	66
8.1. Yüzeylerde Şekil Sapmaları.....	67
8.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	68
8.3. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	69
8.3.1. İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi.....	70
8.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi	71
8.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi	71
9. REGRESYON ANALİZİ	72
9.1. Giriş	72
9.2. Değişken Seçimi.....	72
9.3. Lineer Regresyon Analizi.....	74
9.4. Nonlinear Regresyon Analizi ve Lineerleştirme	76
9.4.1. Üstel Fonksiyon ve Lineerleştirme	76
9.4.2. Kuvvet Fonksiyonu ve Lineerleştirme.....	77
9.4.3. Çok değişkenli Regresyon Analizi	77
9.5. Regresyonun Uyum Değerlendirmesi.....	78
9.5.1. Belirtme Katsayısı (R^2)	79
9.5.2. Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_d^2)	79
9.5.3. Kalıntıların (Residual) İncelenmesi.....	80
10. MATERYAL VE YÖNTEM	81
10.1. Tezgah Özellikleri	81
10.2. İş Parçası Özellikleri ve Şekli.....	81
10.3. Kesici Uçlar.....	82

11. BULGULAR.....	85
11.1. Serbest Yüzey Aşınması Modelinin Oluşturulması	87
11.1.1. Lineer Aşınma Modeli	87
11.1.2. İkinci Dereceden Aşınma Modeli.....	88
11.1.3. Üstel Aşınma Modeli	89
11.1.4. En Uygun Modelin Seçilmesi.....	90
11.2. Yüzey Pürüzlülüğü Modelinin Oluşturulması	94
12. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	99
12.1. Kesme Hızının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi.....	101
12.2. İlerleme Oranının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi	103
12.3. Talaş Derinliğinin Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi.....	106
12.4. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri.....	109
12.5. Kaplama Tabakasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	112
KAYNAKLAR.....	115
TEŞEKKÜR	122
ÖZGEÇMİŞ.....	123

SİMGELER DİZİNİ

r_e	Yuvarlatma yarıçapı, Uç yarıçapı
γ	Talaş açısı
β	Kama açısı
α	Boşluk açısı
ϕ	Kayma açısı
σ	Sürtünme açısı
a_p	Talaş derinliği (mm)
t_c	Talaş kalınlığı
ρ	Yoğunluk
μ	Sürtünme katsayısı
T_s	Kayma gerilmesi
L	Talaş uzunluğu
η	Tezgahın verimi
WR	Aşınma direnci
T	Tokluk
HH	Kızıl sertlik
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
TiN	Titanyum nitrür
TiCN	Titanyum karbonitrür
TiC	Titantum karbür
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
Al_2O_3	Alüminyum oksit
CrN	Krom nitrür
CrC	Krom karbür
V	Kesme hızı (m/dak)
f	İlerleme oranı (mm/dev)
T	Takım ömrü
Cm	Bir dakikalık takım ömrü için kesme hızı

VIII

V_b	Serbest yüzey aşınması (mm)
KT	Krater aşınma yüksekliği
GC	Gamma Coating
R_a	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
R^2	Regresyon belirtme katsayısı
R_d^2	Düzeltilmiş regresyon belirtme katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Talaş kaldırma modeli	7
Şekil 3.2. Eğik kesme modeli	8
Şekil 3.3. Dik ve eğik kesme modeli.....	9
Şekil 3.4. İnce kesme düzlemi modeli	9
Şekil 3.5. Kalın kesme modeli	10
Şekil 4.1. Talaş tipleri.....	13
Şekil 4.2. Hareketsiz bölge ve akış bölgesi	14
Şekil 4.3. Talaşın oluşumu ve makaslanması	15
Şekil 4.4. Ortogonal ve eğik kesme.....	16
Şekil 4.5. İki temel talaş tipi - dairesel ve spiral talaş	16
Şekil 4.6. Tipik bir talaş kırma işlemi	17
Şekil 4.7. Talaş kırılma biçimleri.....	17
Şekil 4.8. Talaş kırma alanı.....	19
Şekil 4.9. Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri	19
Şekil 4.10. Tek ve çift taraflı kesici uçlar	20
Şekil 5.1. Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımlar.....	21
Şekil 5.2. Kesici takım malzemelerinin gelişimi ve işleme zamanı	22
Şekil 5.3. Takım seçimini etkileyen faktörler	23
Şekil 5.4. Çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları	26
Şekil 5.5. Uygulama alanları ve kaliteler	26
Şekil 5.6. İş parçası malzemesi tipleri	27
Şekil 5.7. Kaplamalı ve kaplamasız karbürlerin karşılaştırılması.....	28
Şekil 5.8. A – Tek, B – İki, C – Çok katlı katmanlar.....	29

Şekil 5.9. Kaplama tabakalarının özellikleri.....	30
Şekil 5.10. Kimyasal buhar biriktirme	33
Şekil 5.11. Fiziksel buhar biriktirme.....	35
Şekil 5.12. PVD vakum kaplama makinası	36
Şekil 5.13. TiAlCN tipi kaplamada kafes yapısı.....	37
Şekil 6.1. Taylor bağıntısı	47
Şekil 7.1. Tipik aşınma bölgeleri	49
Şekil 7.2. Kesici takımında meydana gelen aşınma prosesleri	50
Şekil 7.3. Abrasiv aşınma	51
Şekil 7.4. Difzyon aşınması.....	51
Şekil 7.5. Malzemede yorulma aşınması	53
Şekil 7.6. Adeziv aşınma.....	53
Şekil 7.7. Serbest Yüzey Aşınması	55
Şekil 7.8 Krater Aşınması	55
Şekil 7.9. Plastik Deformasyon	56
Şekil 7.10. Çentik Oluşumu.....	56
Şekil 7.11. Isıl Çatlaklar	57
Şekil 7.12. Mekanik Yorulma Çatlakları	57
Şekil 7.13. Dökülme	58
Şekil 7.14. Kırılma.....	58
Şekil 7.15. Yığılma Kenar Oluşumu.....	59
Şekil 7.16. VB' nin takım ömrü süresince gelişimi.....	60
Şekil 7.17. Serbest yüzey aşınması	62
Şekil 7.18. Krater aşınması.....	62
Şekil 7.19. Takımda oluşan aşınma ve kırılmalar.....	64

Şekil 8.1. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi	67
Şekil 8.2. Çeşitli işleme yöntemlerinde yüzey profilleri.....	68
Şekil 8.3. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri.....	70
Şekil 9.1. Değişkenler arasındaki tipik ilişkiler için serpilme diyagramından bazı görünüşler	73
Şekil 9.2. Değerlerin bir doğru ile temsili.....	74
Şekil 9.3. Üstel fonksiyon.....	76
Şekil 9.4. Kuvvet fonksiyonu	77
Şekil 10.1. ISCAR IC9007 geometrik özellikleri	82
Şekil 10.2. ISCAR IC9007 iç yapısı ve kaplama tabakaları.....	83
Şekil 10.3. ISCAR IC907 geometrik özellikleri	83
Şekil 10.4. ISCAR IC907 iç yapısı ve kaplama tabakaları.....	84
Şekil 11.1. Deneysel V_b verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC9007)	92
Şekil 11.2. Deneysel V_b verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC907).....	93
Şekil 11.3. Deneysel R_a verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC9007)	96
Şekil 11.3. Deneysel R_a verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC907)	97
Şekil 12.1. Zamana göre aşınma gelişimi diyagramında aşınma bölgeleri .	100
Şekil 12.2. Kesme hızı (V) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=1$ mm)	101
Şekil 12.3. Kesme hızı (V) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=2$ mm)	102
Şekil 12.4. İlerleme oranı (f) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=1$ mm)	104

Şekil 12.5. İlerleme oranı (f) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=2$ mm)	105
Şekil 12.6. Talaş derinliği (a_p) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($f=0,12$ mm/dev).....	106
Şekil 12.7. Talaş derinliği (a_p) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($f=0,22$ mm/dev).....	107
Şekil 12.8. İş parçası üzerindeki kesilmemiş sert yüzey tabakası	108
Şekil 12.9. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($a=1$ mm)	110
Şekil 12.10. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($f=0,12$ mm/dev)....	111
Şekil 12.11. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($f=0,22$ mm/dev)....	112
Şekil 12.12. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($a=1$ mm, $a=2$ mm)	113

TABLolar DİZİNİ

Tablo11.1 ISCAR IC 9007' de meydana gelen Serbest Yüzey Aşınması (V_b)..	85
Tablo11.2 ISCAR IC 907' de meydana gelen Serbest Yüzey Aşınması (V_b)....	86
Tablo11.3 ISCAR IC9007 ve IC907 ile işlenen iş parçasında meydana gelen yüzey kalitesi değerleri R_a (μm)	86
Tablo11.4 Toplam Ortalama Hata (V_b Serbest Yüzey Aşınması)	91
Tablo11.5 Toplam Ortalama Hata (R_a Yüzey Pürüzlülüğü)	95

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatın amacı uygun talaş oluşumunu sağlayarak iş parçası malzemesinin belirli şekil ve boyuta getirilmesidir. Bu esnada yüksek sıcaklık ve basınç, metallerin difüzyonu ve kimyasal reaksiyonlar takımın aşınmasına ve bunun sonucunda titreşim, kötü yüzey kalitesi, tolerans dışı imalat, takımın veya iş parçasının zarar görmesi gibi sorunlara neden olabilir. İşte bu noktada kesici takım üzerindeki kaplama tabakalarının önemi ortaya çıkmaktadır.

Kesici takımların kaplanmasının asıl amacı takımın yüzey sertliğinin ve aşınmaya karşı dayanımını arttırmaktır. Kaplama sayesinde, işlenen malzeme ile takım arasında ki reaksiyon azaltılıp takım ömrü arttırılmış olur.

Kesici takımlarda aşınma belirli bir değere ulaştığında sürtünmeler artmakta, yüzey kalitesinde olumsuzluklar, ölçü hassasiyetinde bozulmalar olmaktadır. Aynı koşullarda kesme kuvvetlerinin artması takımın aşınmasının sonucudur.

Malzeme, takım geometrisi, uygulama ve işlenecek olan malzeme ile iş için en iyi kaplama seçildiğinde ve bunlar dikkatli bir şekilde kullanıldığında kaplama tesirliği maksimum olur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Takım Ömrü

Nagasaka ve Hashimoto (1982), uygun kesme parametrelerinin kullanılması ile takım aşınmasında azalmaların sağlandığı yeni bir model üzerinde çalışmışlardır. Bu modelde farklı aşınma uygulamalarının takım ömrüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile Taylor' un takım ömrü formülünden farklı bir takım ömrü formülü elde edilmiştir.

Ronkainen ve ekibi (1991), CVD kaplama yöntemi kullanarak TİN , TİAIN ve TİCN kaplanmış takımlarla talaş kaldırma deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerin sonucunda takımların , takım ömürlerinde 3 kata varan iyileşme sonuçlarına ulaşmışlardır.

Choudhury ve Rao (1999) , maksimum takım ömrü elde etmek için çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu amaçla, kesme parametreleri ; ilerleme , kesme hızı ve takım ömrüne etkisi diğer parametrelere nazaran daha az olan talaş derinliğinin optimizasyonu ile yöntem geliştirilmiş olup deney sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile yeni bir model ortaya çıkarılmıştır. Bunun sonucunda % 30'a varan iyileşmeler sağlanmıştır.

Santos ve ekibi (1999) , kesme hızı , ilerleme , talaş derinliği ve serbest yüzey aşınmasına bağlı olarak takım ömrü ile serbest yüzey aşınması arasında olan ilişki matematiksel olarak ifade edilmiştir. Deneylerden elde edilen katsayı ve üs değerlerinin kullanılması ile aşınma miktarı takım ömrüne bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Deneylerde TİN , TİC kaplamalı takımlar kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerin doğruluğu için kullanılan takım-malzeme çiftine uygun ve özellikle üretici firmalar tarafından önerilen kesme parametreleri kullanılmıştır.

2.2. Serbest Yüzey Aşınması ve Takım Ömrü İlişkisi

Choudhury ve ekibi (1998), modern takım tezgahlarında serbest yüzey aşınmasını on-line izlenmesinde kullanılabilecek adaptif denetim mekanizmasını modeli geliştirmişlerdir. Aşınma bölgesi lazer ışın demeti ile aydınlatılmakta ve takım kamera ile görüntülenmektedir. Elde edilen görüntüler, sayısal dönüştürme işlemi sonucunda aşınma genişliğini vermektedir. Bu yöntem ile doğru sonuçlar almak için ölçüm bölgesi temiz olmalıdır.

Dan ve Mathew (1990) yaptıkları çalışmada, takım ömrü ve kesme parametreleri ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Talaş kaldırma işleminde, kesici takım aşınması ilk başta olmak üzere, takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Aşınma sınırına ulaşmış bir takımla, talaş kaldırma işlemine devam edilmesi kesme kuvvetlerinin artmasına, parça boyut hassasiyetinin bozulmasına, takımdaki tahribatın artmasına neden olacağı gibi, yüzey kalitesinin bozulmasına da neden olur. Kesici takımın kırılması ise talaş ve plastik deformasyon ile köşe ve serbest yüzey aşınması faktörlerinin bileşimi olarak ortaya çıkar.

Jemielniak ve ekibi (1985), tornalama işleminde, karbür takımlar kullanmışlardır. Serbest yüzey aşınmasını; diğer parametreleri değiştirmeden sadece ilerlemeyi değiştirerek, ilerlemenin aşınma üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Koren (1978) yaptığı deneylerde, serbest yüzey aşınması ile kesme kuvvetleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu görmüştür. Farklı talaş derinlikleri kullanarak yapılan deneylerde, aynı kesme koşullarında kuvvetlerdeki değişime bağlı olarak serbest yüzey aşınmaları gözlenmiştir.

Gomayel (1986), kesme işlemi sırasında, iş parçası çapında meydana gelen değişimleri elektromanyetik sensörlerle işlemiş ve buna bağlı olarak takım aşınmasını tespit eden bir sistem geliştirmiştir.

2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Metallerin talaşlı üretiminde, takımların yüzey özelliklerinin artırılması önemli oranda takım ömrünün artırılmasına sebep olmaktadır. Tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü açısından takım ömrünü belirlemek amacıyla yapılan deneylerde temel etkenin takım ucunda periyodik olarak oluşan kanallar olduğu belirlenmiştir. Bu kanalların derinliği ve pürüzlülük parametreleri arasında doğrudan ifade edilebilecek bir bağıntı vardır. Kanalların derinliğine en çok etki eden teknolojik faktörler sırası ile kesme hızı, ilerleme, takım ve parça malzemelerinin cinsidir. Talaş kaldırma işleminde düşük ilerleme hızları pürüzlülük açısından takımın kesme potansiyeli bitmeden teknolojik ömrünün bitmesine neden olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki değişimler serbest yüzey aşınmasının bir göstergesi olup, diğer aşınma tipleri hakkında bilgi vermez, diğer ölçüm yöntemleri ile birlikte kullanılırsa anlamlı sonuçlar elde edilebilir.

Gülyaz ve ark. (1996), tarafından yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünün tahmini için cevap yüzey yöntemi kullanılarak deney tasarımları yapılmış ve daha sonra bu deneylerin sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık olarak tahmin edecek model oluşturulmuştur.

Montgomery ve ark. (1989), tarafından ortogonal ve eğik talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetleri ve takım geometrisi ile elde edilen yüzey kalitesi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Tornada farklı kesme hızı, ilerleme, takım geometrisi ve talaş derinliklerinde elde edilen yüzeyler profilmetre ile ölçülmüş elde edilen veriler bilgisayara aktarılmıştır. Oluşturulan veri tabanında her 0,01 mm için 1000 ölçüm alınmıştır. 10 mm uzunlukta yüzey profilinde minimum ve maksimum değerlerin analizi yapılmıştır.

Moon ve ark. (1992), kesme kuvvetlerinin yüzey profili üzerine etkilerini incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğü, normalde ilerleme ve takım uç radyüsünün bir fonksiyonu olup, bunlardaki değişim ile farklılık göstermektedir. Diğer kesme parametrelerinden (ilerleme, talaş derinliği, kesici uç radyüsü) sabit tutulduğunda kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler gözlemlenmektedir.

Nalbant ve Korkut (1996), tarafından gerçekleştirilen diğler bir çalışmada da 1030, 1060 ve bu malzemelerin normalizasyon işlemine tabi tutulmuş olanlarında üzerinde, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Deneylerde ilerleme sabit tutularak kesme hızı, kesici ve malzeme değişken parametre olarak alınmış ve değişken parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

zatalbaş (1998), tarafından yapılan diğler bir çalışmada, SAE 8620 eliğinin tornalanması sırasındaki talaş oluşum mekanizması ve oluşan talaş morfolojisinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri gibi işleme özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sıcak haddelenmiş eliğın normalleştirilme ve tavlama ısı işlemleri ile mekanik özellikleri değiştirilmıştır. Değişik mekanik özelliklere sahip numunelerin düşük ve yüksek kesme hızlarında tornalanması sırasında bir ani durdurma aparatı kullanılarak talaş kökü numuneleri çıkartılmıştır. Bu numunelerin metalografik muayeneleri yapılmış ve talaş morfolojileri incelenmiştir. Malzemenin artan sertlik ve çekme dayanımının yığma talaş oluşumunu azalttığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak yığma talaş boyutlarındaki değişim yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini önemli bir şekilde etkidiği tespit edilmiştir.

3. TALAŞ KALDIRMA MODELİ

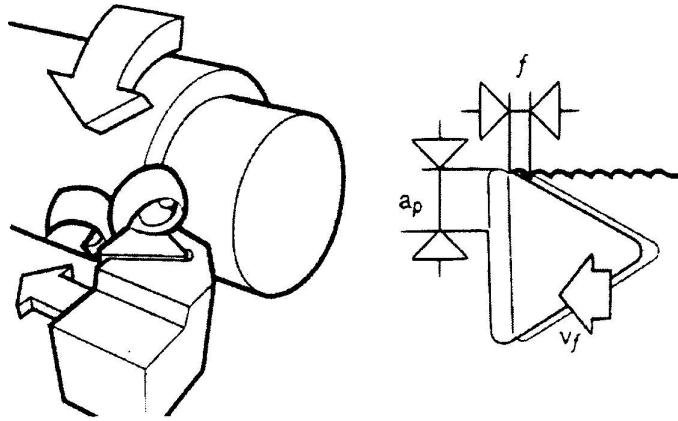
İmalat sayesinde malzemelerin verimli şekilde işlenmesi sadece kesilen malzeme hakkında değil aynı zamanda değişik şartlar altında, kesici takım malzemesi, kesici şekli ve nasıl yapılacağı hakkında da bilgi gerektirir. Geçen yüzyılın sonlarına doğru başlayan talaş kaldırma ile ilgili araştırmalar 1940' lara kadar artan bir hızla devam etmiş, bu tarihten sonra özellikle sanayileşmiş ülkelerde önemli bir gelişme göstermiştir. Son 20 yıldan beri birçok yeni takım malzemeleri ve takım tezgahları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızlarında çalışma imkanı sağlanmış ve bunlarda üretim artışına yol açmıştır. Bütün bu faktörler dikkate alındığında takım tezgahları ile talaş kaldırma teorisi ve uygulama alanı sürekli araştırılmaktadır. Talaş kaldırma fiziği açısından, malzemenin nasıl kesildiği veya kesici takımın malzemeye yaklaştığı yerde gerçekte nelerin olduğunu anlamadan yüzlerce yıldan beri insanoğlu metalleri kesmek için kesici takımları kullanmaktadır.

Talaş kaldırma olayının fiziksel açıdan incelenmesi talaş kaldırma teorisinin temelini oluşturmaktadır. Aşınma, ömür, sıcaklık, kuvvet, enerji, sürtünme vb. gibi diğer incelemeler talaş kaldırma teorisine dayanmaktadır. Çok zor ve karmaşık bu olayı açıklamak için teorik modellere dayanarak değişik pek çok teori ortaya atılmıştır. Bu teorilerin başlıcaları şunlardır;

- Timme yaklaşımı,
- Ernst ve Merchant yaklaşımı,
- Lee ve Shaffer yaklaşımı,
- Shaw, Cook ve Finne yaklaşımı,
- Hill yaklaşımı,
- Okushima ve Hitami yaklaşımı,

- Zorev yaklaşımı,
- Astakhov yaklaşımı,

Talaş kaldırma teorisinin odak noktası talaşın oluşumudur. Talaş ana malzemeden plastik şekil değiştirmenin sonucu meydana gelmektedir. Keskin bir uç malzemeye nüfus ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında malzemenin plastik şekil değiştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir. Şekil 3.1' de talaş kaldırma modeli görülmektedir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş olarak adlandırılan belli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca takımın kesme yüzeyinden kayarak parçadan ayrılır. Talaşın kesici takım kesme yüzeyinde kayması yüksek basınçlar altında meydana gelir ve oluşan sürtünmeden dolayı takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşur.

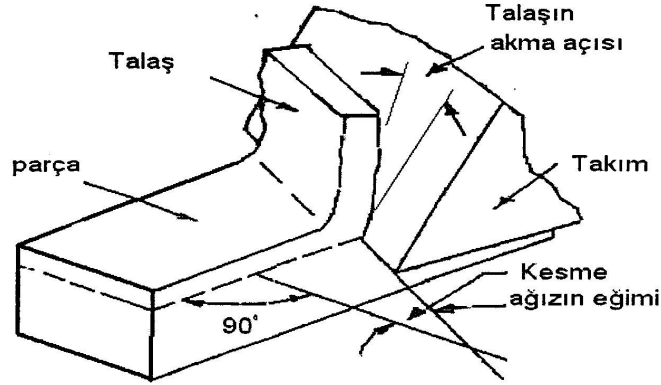


Şekil 3.1. Talaş kaldırma modeli (Çakır 2000)

Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant'ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağzı kesme hız vektörüne dik

olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise parçanın işlenmiş yüzeyine dönük yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru koordinat sistemi seçilirse takımın kesme özelliklerini belirleyen açılar; talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve boşluk açısı (α) dır. Talaş açısı dikey doğru ile takımın talaş yüzeyi, boşluk açısı ise takımın serbest yüzeyi ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında kalan açıdır. Kama açısı takımın kendi açısıdır.

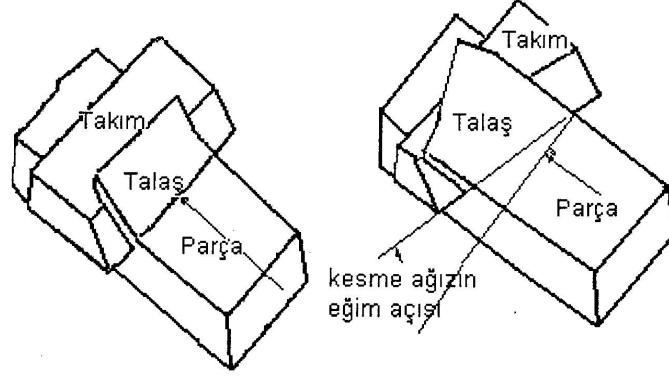
Bu açılar arasında $\alpha + \gamma + \beta = 90$ bağıntısı vardır. Takım ucu hafifçe yuvarlatılır; yuvarlatma yarıçapı (r) değerindedir ve takım geometrisini tamamlayan bir faktördür. Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Şekil 3.2' de eğik kesme modeli görülmektedir. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda şekil değiştirmemiş talaş kalınlığı ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır.



Şekil 3.2. Eğik kesme modeli (Akkurt 1993)

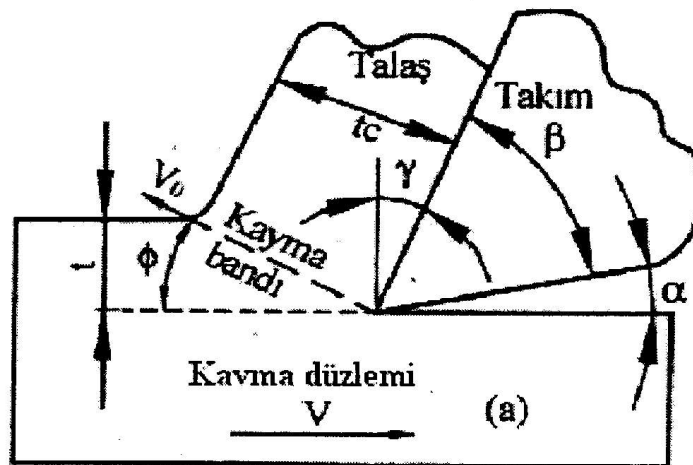
Talaş parçadan kayma düzleminde ayrılır. Kayma düzleminin yönü Φ kayma açısı tarafından belirlenir. Talaşta meydana gelen şekil değiştirmeleri ve bunlara bağlı talaş boyutları kayma açısından önemli şekilde etkilenir. Kayma

açısının azalması talaş kalınlığının artmasına, kayma açısının artması ise talaş kalınlığının azalmasına neden olmaktadır. Şekil 3.3' de dik ve eğik kesme modelinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 3.3. Dik ve eğik kesme modeli (Akkurt 1993)

Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeleri Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda şekilde gösterilen dik bir modeli



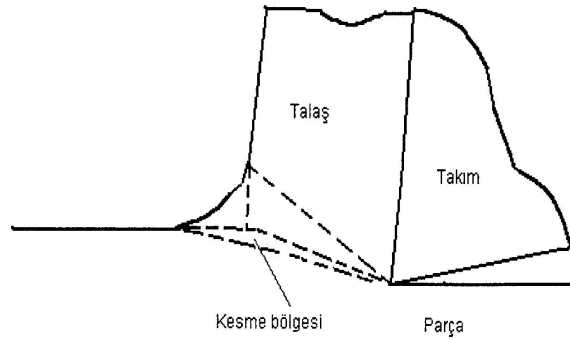
Şekil 3.4. İnce kesme düzlemi modeli (Ernst. ve Merchant 1945)

ortaya atılmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil-değiştirme göstererek; takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemeden ayrıldığını varsaymıştır. Talaşın malzemeden ayrıldığı ve Φ ile ifade edilen açıya kayma açısı denilir. Şekil 3.4' de İnce kesme düzlem modeli düzlemi görülmektedir.

İnce düzlem adını taşıyan bu teoriye göre kesme kuvveti ifade edilirse bu kuvvete dayanarak minimum enerji ilkesine göre Merchant kayma açısını;

$$\Phi = \frac{\Pi}{4} - \frac{1}{2}(\sigma - \gamma) \quad [5.1]$$

şeklinde ifade etmiştir. Bu bağıntıda σ sürtünme açısı γ talaş açısıdır. Kayma açısının optimum değerini bulmak için Merchant minimum enerji ilkesini ortaya atmıştır. Bu ilkeye göre malzeme, talaş kaldırmak için gereken enerjiyi en küçük değerine indiren bir kayma açısı seçmektedir. Talaş kaldırma ile ilgili tüm teorilerde genelde $\Phi = F(\gamma, \sigma)$ şeklinde ifade edilen kesme açısının sürtünme açısı ve talaş açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Ancak şimdiye kadar tüm bu hususları kapsayan bir talaş kaldırma teorisi oluşturulamamıştır. Bununla beraber özellikle son zamanlarda bu yönde incelemeler ve araştırmalar yoğunlaşmıştır. Talaş kaldırma işlemi ile ilgili teoriler kayma düzlemi esasına dayanmaktadır. Yapılan varsayımlara göre bu düzlem çok ince (teorik olarak sonsuz ince) veya kalın bölge şeklinde olabilir. Şekil 3.5' de kalın kesme düzlemi modeli görülmektedir.



Şekil 3.5. Kalın kesme modeli (Lee ve Shaffer 1951)

İnce düzlem teorisi, talaş kaldırma olayını ilk olarak açıklamaya çalışan teoridir. Bu teoriye göre malzeme tabakasının plastik şekil-değiştirmeleri ve parçadan ayrılmasının kayma düzleminde meydana geldiğini varsaymaktadır. İnce düzlem teorisinin esas kurucusu ve temsilcisi Merchant' tır (Akkurt 1985).

Kaldırılacak malzeme tabakası, takımın etkisi altında yüksek plastik şekil değiştirmelere uğramakta, bu şekil değiştirmeler kesme düzleminde yoğunlaşmakta ve bunun sonucu olarak talaşa dönüşmektedir. Malzemelerin plastik şekil değiştirmelerinin bir ölçütü sertliktir. Sertlik talaş kaldırma işleminde malzemelerin kesmeye karşı gösterdiği direnc olarak açıklanabilir.

Talaş kaldırma işleminde, kesici takımın kesici kenarının hemen önünde, iş parçası üzerinde kesme deformasyonunun temel mekanizması, oldukça karmaşıktır. Kesme esnasında kesici takım ile iş parçası arasındaki bağıll hareket ve takımın iş parçasına bastırılması sonucu kesme deformasyonu (birincil deformasyon) oluşur. Buna bağlı olarak talaş oluşur. Talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken talaşın takım üzerinde kayması sonucunda ise bu bölgede de ek bir deformasyon (ikincil deformasyon) oluşur.

Bu iki deformasyon oluşumu birbirileri ile ilişkilidir. Malzeme, talaş yüzeyi üzerinden geçerken bu yüzeye sürtünmesi neticesinde ısınır ve plastik deformasyona uğrar. Bu nedenle, ikinci deformasyon kayma düzlemi üzerindeki durumdan etkilenir. Aynı zamanda kayma yönü direkt olarak talaş yüzeyi deformasyonundan ve sürtünmeden de etkilenir. Kayma yönü, birinci deformasyon sırasında meydana gelen talaşın ısınması ve uzamasından da etkilenir. Bunun sonucunda talaş kaldırma teorisine göre kayma gerilmesi ve kayma yönünün eş zamanlı olarak hesaplanabileceği meydana çıkar.

4. TALAŞ OLUŞUMU

4.1. Giriş

Metallerin işlenmesi zordur. Hatta bazı metaller diğerlerine göre çok daha zor işlenirler. Buna karşın, bugün çeşitli boyut ve koşullardaki metaller özenle tasarlanmış kesici kenarlar ve iş parçasına uygun olarak seçilmiş takım malzemeleri sayesinde son derece verimli bir şekilde işlenmektedirler.

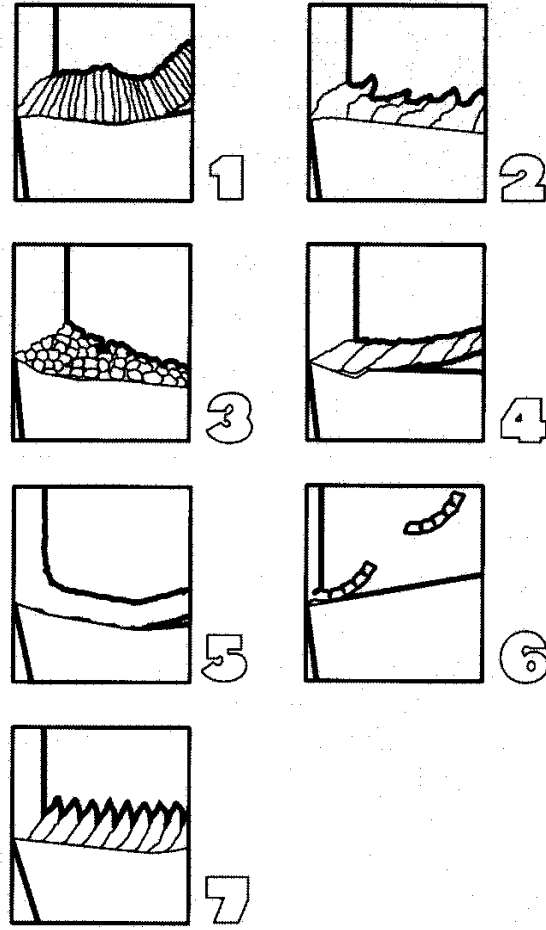
Talaşlı imalat bir talaş oluşturma işlemidir. İşlemin amacı metali belirli bir şekil ve boyuta getirmekse de bu işlemin uygun talaş oluşumunu sağlayacak şekilde yapılması zorunludur. Talaşlı imalat bir talaş oluşturma ve gerekirse talaş kırma işlemidir. Talaş kırma işleminin nedeni sadece işlem sırasında oluşacak talaşın taşınma ve depolanma kolaylığı değil, aynı zamanda kesme bölgesinden uzaklaşan talaşın kontrolü ve işlem sırasında oluşan ısının büyük bir bölümünün bu talaşlarda ortamdaki uzaklaştırılması zorunluluğudur.

Talaş kaldırma işleminin anlaşılabilmesi değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının anlaşılmasına bağlıdır. Bu işlemin bir kısmı talaş kaldırma işleminin kalitesini etkileyen en belli başlı faktörler olan deformasyon, sıcaklık ve kuvvetlerin belirlenmesi işlemidir. Kesici ucun tasarımında amaç talaş kaldırma esnasında sıcaklığın, kuvvetlerin ve talaş oluşumunun kontrolüdür. Kesici geometrisinin tasarımı aşamasında gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin takım ömrü ve uç mukavemeti üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerekir.

Talaşlı imalat alanında en genel halde 7 farklı talaş tipi mevcuttur (Şekil 4.1). Bu tipler;

- 1) Birçok çeliklerde olduğu gibi sürekli, uzun talaş
- 2) Paslanmaz çeliklerde olduğu gibi lameller halindeki talaş
- 3) Dökme demirlerde olduğu gibi kısa talaş

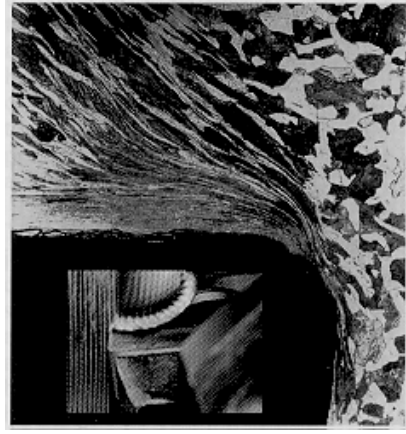
- 4) Süper alaşımlarda olduğu gibi değişken, yüksek mukavemetli talaş
- 5) Alüminyumda olduğu yumuşak, düşük mukavemetli talaş
- 6) Sert çeliklerde olduğu gibi yüksek sıcaklık / basınca dayanıklı talaş
- 7) Titanyumda olduğu gibi parçacıklar halindeki talaş



Şekil 4.1. Talaş tipleri (Çakır 2000)

Şekil 4.2' de kesici ucun karbon çeliği bir malzemedan 150 m/dak' lık bir kesme hızıyla talaş kaldırması işleminin büyütülmüş fotoğrafı gösterilmiştir. Hareketsiz bölge kesici kenarın uç kısmını izlemektedir. Yumuşamış metal, yüzey üzerinde yapışma / kayma suretiyle takımı korumaktadır. Akış bölgesi

deforme olmuş malzeme ile olmamış malzemeyi gözle görünür bir şekilde ayıran kayma düzleminde hemen sonra başlamaktadır.



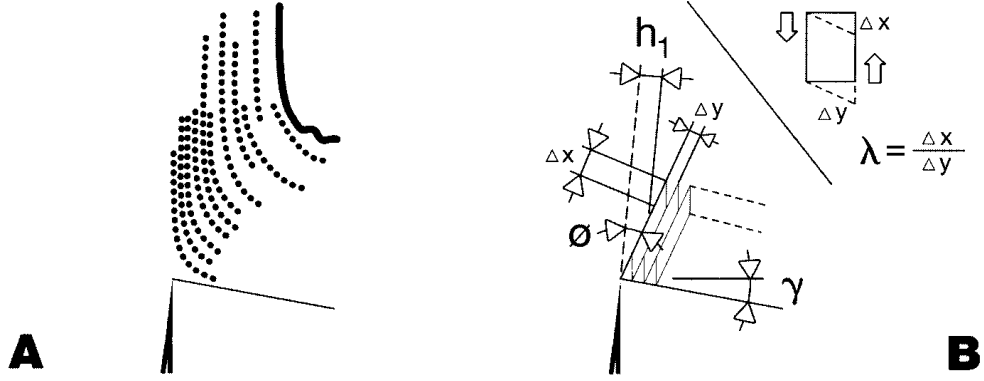
Şekil 4.2. Hareketsiz bölge ve akış bölgesi (Çakır 2000)

Talaş kaldırma plastik deformasyon demektir. Metalin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme sertleşmesi üzerine etkide bulunur. Bu olay metalin yüksek bir sıcaklıkta, sıcak işleme yoluyla plastik deformasyona uğratılması halinde söz konusudur. Deformasyon miktarı takımın talaş açısının büyüklüğüne bağlıdır. Kayma düzlemi iş parçasından kaldırılacak malzemenin talaşa dönüştüğü düzlemdir - malzeme akar ve talaş oluşur.

Kayma açısının talaş ile takım yüzeyi arasındaki temas uzunluğu üzerinde bazı etkileri mevcuttur, bu bölgede kuvvetler ve sıcaklıklar takım önemli ölçüde etkilerler. Talaş oluşumu deforme olmamış talaş kalınlığı / ilerlemeye, talaş açısına ve iş parçası malzemesinin mukavemetine bağlıdır. Talaş oluşumunu talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan eğilme kuvveti etkisiyle tamamlar. Talaşın üst yüzeyi takım ile temas eden alt yüzeyinden kısadır (Şekil 4.3).

Talaşın ilk oluşumunun nedenleri ve etkileriyle (Şekil 4.3 (A)) ilgili bir gurup teori geliştirilmiş ve bu teorilerin tümünde talaş oluşumunun kesme hızına bağlı olduğu ortaya konmuştur. Büyük talaş açısı talaşın daha büyük bir yarıçap

etrafında daha az kıvrılması ve daha düşük kuvvetler demektir. İdeal bir kesme işleminde oluşan kayma Şekil 4.3 (B) 'de gösterildiği gibi x ve y arasındaki λ oranı ile ifade edilebilir.



Şekil 4.3. Talaşın oluşumu ve makaslanması (Çakır 2000)

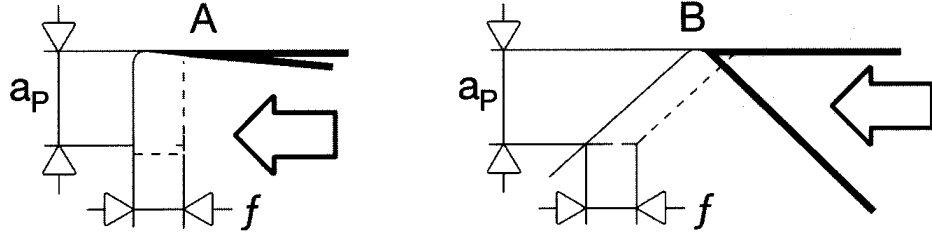
4.2. Talaş Oluşumu

Talaşın şekli önemli ölçüde talaş kaldırılan iş parçası malzemesine bağlıdır. Örneğin, farklı mekanik özelliklere sahip bir orta karbonlu çelik ile bir alaşımlı çelik talaşı karşılaştırıldığında, orta karbonlu çeliğinin daha fazla deforme olduğu ve daha büyük bir kıvrıma sahip olduğu görülür.

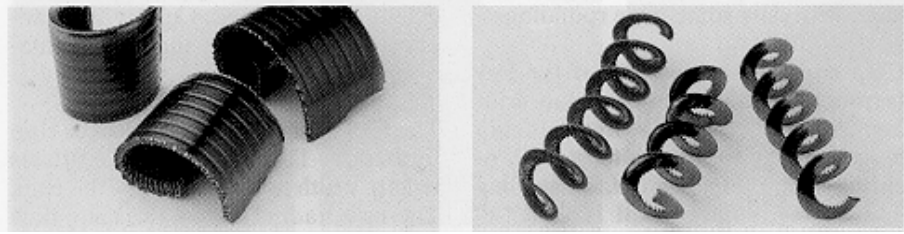
Ancak talaş kırma problemi yalnızca çeşitli talaş açısı ve ilerleme değerlerini içeren kombinasyonlarının seçimi ile çözülemez. Yalnızca talaş kırma problemine çözüm teşkil eden çeşitli kombinasyonlardan olumsuz yönde etkilenen diğer talaş kaldırma faktörleri de mevcuttur. Kesme kuvvetleri, takımın mukavemeti, sıcaklıklar ve titreşimler talaş oluşumunda önem kazanan diğer faktörlere örnektir.

İş parçası dönme ekseninin ana kesici kenar ile dik açı yaptığı kesme işlemine ortogonal kesme işlemi denir (Şekil 4.4 (A)). Bu durum talaş kaldırma işleminin basitleştirilmiş hali olup sadece alın tornalama ve kanal açma işlemleri gibi bazı işlemler için geçerli bir durumdur. Birçok talaş kaldırma işleminde kesme yönünün ana kenara dik olmayıp belirli bir açı yaptığı eğik kesme (Şekil

4.4 (B) söz konusudur ki bu durum takım geometrisini ve talaş akış yönünü değiştirir. Tipik bir kesme işleminde elde edilen saat yayı şeklindeki talaşlar yerine çeşitli boyutlarda dairesel ve helisel talaşlar elde edilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. Ortogonal ve eğik kesme (Çakır 2000)

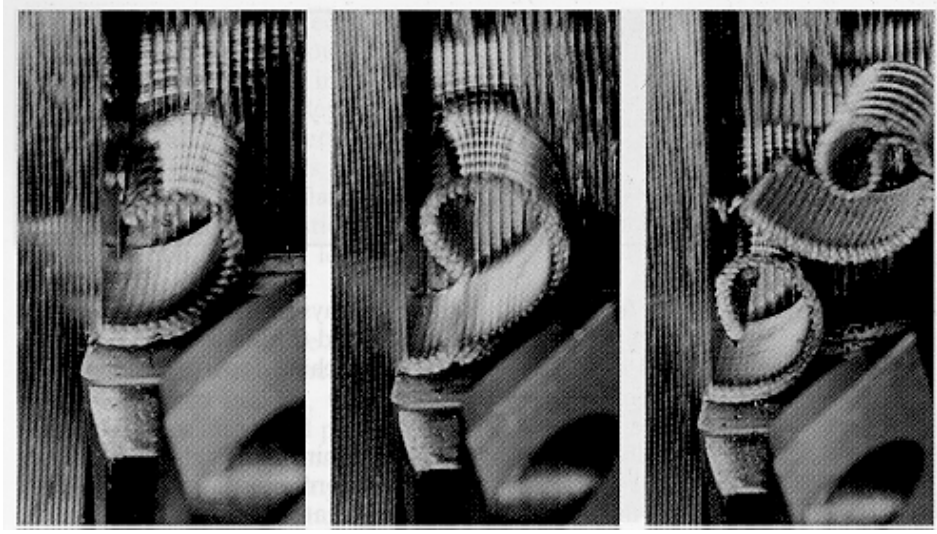


Şekil 4.5. İki temel talaş tipi - dairesel ve spiral talaş (Çakır 2000)

Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radyüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir.

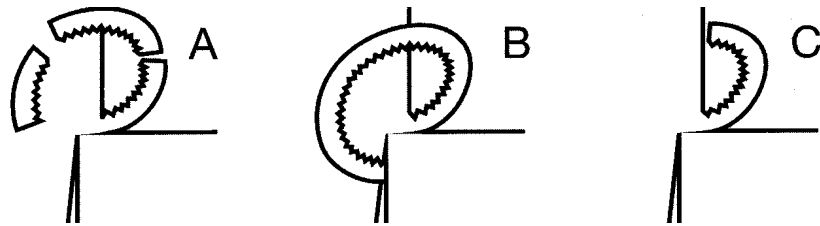
Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir ve ancak çok iyi tasarlanmış bir kesici geometrisi ile elde edilirler. Şekil 4.6' de tipik bir talaş kırma işlemi gösterilmiştir.

Eğriliği, yönü, helisi ve talaşın şeklini belirleyen kesici kenardır. İnce işlemlerde kullanılan bir kesici uç köşe radyüsüyle çalışır, dolayısıyla geometrisinde en önemli bölge ucun köşesidir. Kaba işlemlerde kullanılan uçlarda ise önemli olan tamamıyla talaş yüzeyi üzerindeki geometridir. Bazı kesici uçlar geniş bir çalışma aralığında arzu edilen talaş oluşumunu sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır.



Şekil 4.6. Tipik bir talaş kırma işlemi (Çakır 2000)

Talaşın kırılması için üç farklı yol vardır (Şekil 4.7): kendi kendine kırılma (A), talaş takım tarafından durdurulduğunda kırılma (B), talaş iş parçası tarafından durdurulduğunda kırılma (C). Kendi kendine kırılma işleminde en önemli faktör talaşın uygun bir yöne akışının sağlanmasıdır. Talaşın takıma dayanarak kırılması halinde talaşın kesici kenar üzerine yaptığı darbe olumsuz bir etkidir. Talaşın iş parçasına dayanarak kırılmasının ise talaşın iş parçasının yüzey kalitesini etkilemesi veya tekrar kesme bölgesine düşmesi halinde olumsuz bir etkisi vardır. Kontrol edilemeyen talaş takımının ani kırılmasına, tezgahın durmasına ve işçinin yaralanmasına neden olacaktır, bu nedenle talaş kontrolünün mutlaka sağlanması gerekir.



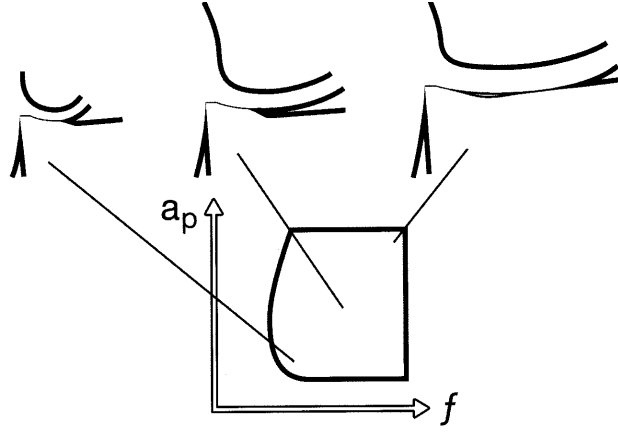
Şekil 4.7. Talaş kırılma biçimleri (Çakır 2000)

Kısa talaş oluşturan malzemeler hiç bir talaş kırıcıya gereksinim göstermezler. Bazı uzun talaş oluşturan malzemelerin işlenmesinde ise kesici uç geometrisi üzerindeki talaş kırıcılar talaşı deforme ederek kırarlar. Talaşın ilk kıvrımı bir çok durumda talaşın arzu edilen uzunluklarda kırılması için yeterli değildir. Bir talaş kırıcı en basit haliyle talaş akışını engellemek için kenar üzerinde oluşturulmuş bir engeldir. Bugün kullanılan modern kesici uçların öncesinde talaş kırıcılar taşlama ve daha sonra kesici uç üzerine preslenme yoluyla oluşturulmuşlardır. Modern değiştirilebilir kesici uçlar kesme işlemi boyunca talaş oluşumunun, temas uzunluğunun, talaş kırma işleminin optimize edilmesini sağlayacak açılar, düzlem yüzeyleri ve yarıçapları içeren karmaşık bir geometriye sahiptirler.

Talaş kontrolü özellikle tornalama ve delme işlemlerinde en önemli faktörlerden biridir.

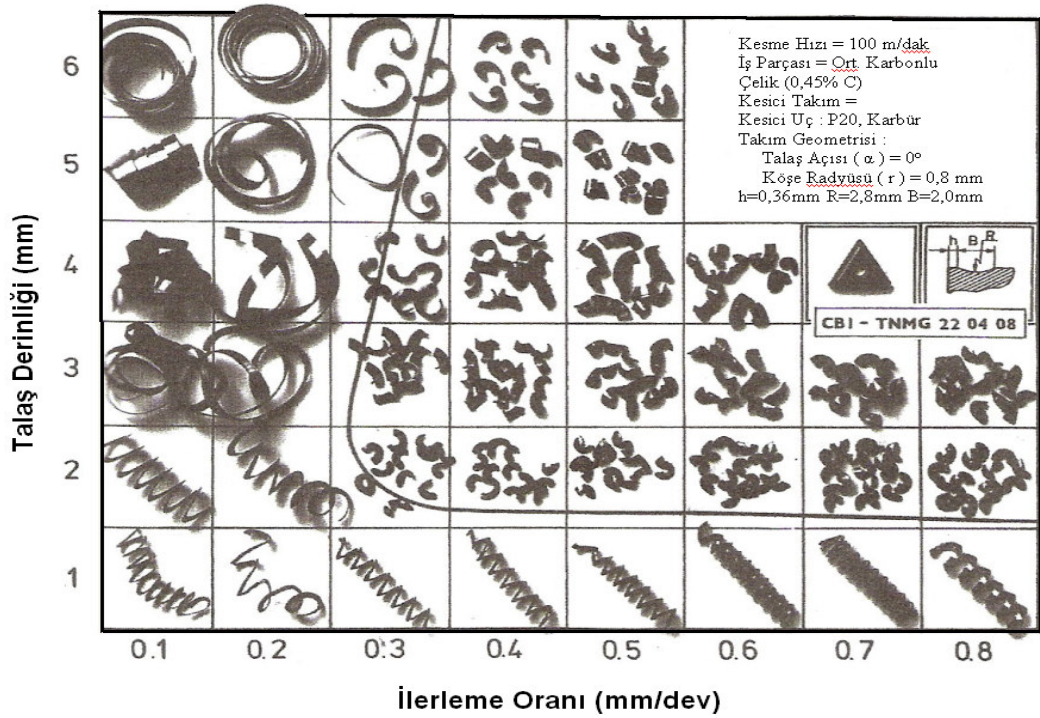
Talaş oluşumunu belirleyen pah, talaş açısı ve talaş kırıcının çeşitli kombinasyonları ile çok değişik kesici kenar tasarımları gerçekleştirilebilir. Ancak bu tasarımların geniş uygulama alanlarında uygun talaş oluşumuna, özellikle temas alanı boyunca optimize edilmiş bir talaş kaldırma işlemine olanak sağlamaları gerekir. İşleme esnasında ortaya çıkan kuvvetler ve basınçlar kesici kenar geometrisinden etkilenirler. Pratikte kesici kenar geometrisinin performans, takım ömrü, güvenilirlik, güç gereksinimi ve talaşın şekli üzerinde büyük etkisi vardır.

Talaş kırıcının tasarımı kesici kenarın değişik ilerleme ve talaş derinliklerinde talaş oluşturma kabiliyetini belirler. Bazı tasarımlar kesici kenarı küçük ilerlemeler ve talaş derinliklerinin söz konusu olduğu küçük bir çalışma alanı ile sınırlarken, bazıları talaş kırma işleminin uç kısımda ve tüm talaş yüzeyi boyunca gerçekleştirildiği daha büyük uygulama alanlarını içerirler (Şekil 4.8). En küçük talaş derinliklerinde talaşı köşe radyüsü üzerindeki bir talaş kırıcı oluştururken ilerlemenin artırılmasıyla ana kesici kenar da talaş kaldırma işlemine katılır. En büyük talaş derinliklerinde talaşı oluşturan kesici ucun talaş yüzeyi üzerindeki geometridir.



Şekil 4.8. Talaş kırma alanı (Çakır 2000)

Bu yolla kesici uç için uygun talaş oluşumunu sağlayan kesme verilerini içeren bir çalışma alanı belirlenir. Bu alanın dışındaki talaşlar genellikle uzun şeritler veya aşırı sıkıştırılmış, kalın talaşlardır (Şekil 4.9).

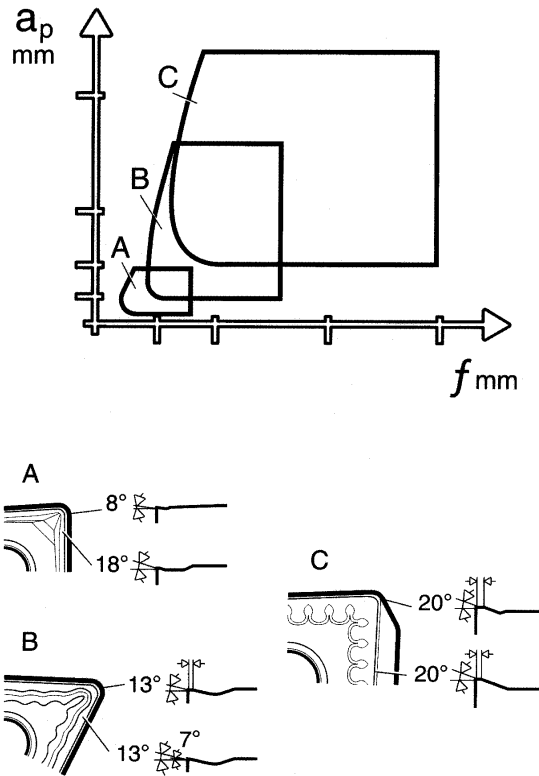


Şekil 4.9. Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri (TRENT & WRIGHT 2000)

Sonuç olarak, köşe radyüsü üzerindeki geometri farklı iş parçası malzemeleri ve farklı ilerlemelerde talaş kaldırma işlemi üzerinde farklı etkilerde bulunur. Büyük talaş derinliklerinde kullanılmak amacıyla tasarlanan bir kesici kenar için kenar dayanımının mutlaka dikkate alınması gerekir.

Kesici ucun şekli kesici ucun çift taraflı mı yoksa tek taraflı mı olacağını da belirler. Çift taraflı bir kesici uç yeterince büyük bir destek yüzeyine sahip olmalıdır. Şekil 4.10' de (A) ve (B) çift taraflı, (C) tek taraflı bir kesici uçtur.

Modern kesici uç programlarında mevcut bir kaç tip kesme geometrisi genellikle işlem tiplerinin, malzemelerin, koşulların büyük bir çoğunluğu için uygundur. Çok sıkı toleranslar ve son derece iyi yüzey kalitesi sağlayan, çok ince, orta kaba, kaba ve çok kaba talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici uçlar kataloglarda mevcuttur.



Şekil 4.10. Tek ve çift taraflı kesici uçlar (Çakır 2000)

5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ ve KAPLAMALARI

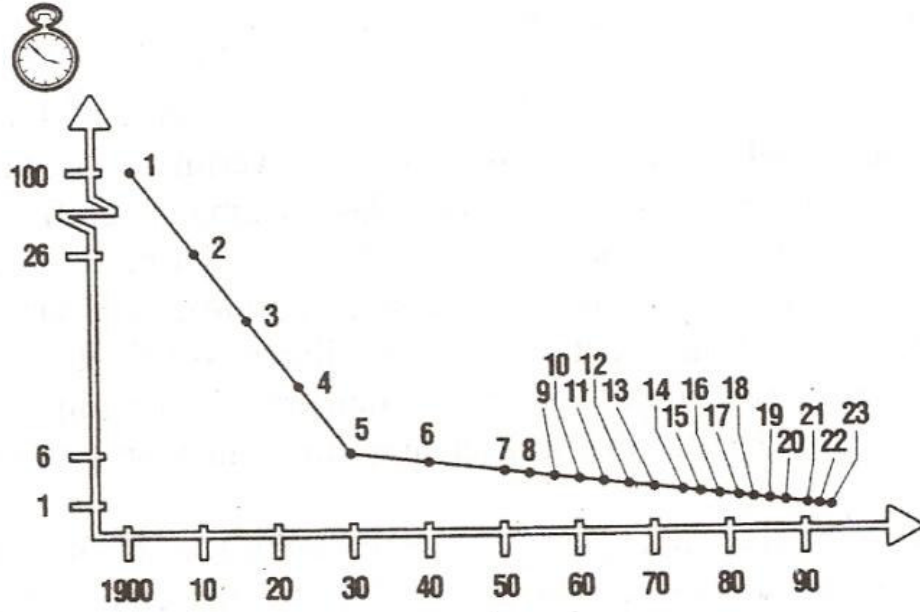
5.1. Giriş

Bugün her türlü talaş kaldırma işlemi için belirli bir iş parçası malzemesini, belirli koşullar altında, en iyi şekilde işleyecek bir takım malzemesi mevcuttur. 'Yüzyılın başında hız çeliklerinin bulunmasıyla gelişimine başlayan takım malzemeleri 1960' larda 100 dakika olan işleme zamanını 1 dakikanın altına indirmişlerdir.

Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımların büyük bir çoğunluğu Şekil 5.1' de liste halinde verilmiş ve bu takım malzemeleri sayesinde işleme zamanındaki azalma bir grafik (Şekil 5.2) üzerinde gösterilmiştir. Grafikte her ne kadar hız çeliklerinin, sinterlenmiş karbürlerin ve kaplamalı sinterlenmiş karbürlerin performansta sağladıkları büyük artış net olarak gösterilmemişse de gelişen takım malzemeleri sayesinde işleme zamanının azaldığı açıkça görülmektedir. Grafikte dikey eksen de işleme zamanları verilmiştir.

1. Karbon çeliği	13. Kaplamalı karbürler (GC)
2. Yüksek hız çeliği (HSS)	14. Çok kristalli elmas (PCD)
3. Döküm alaşımlar	15. Kübik bor nitrür (CBN)
4. İyileştirilmiş HSS	16. Çok katlı kaplamalı karbürler
5. Dökme Demir için sinterlenmiş karbür (C)	17. Delme için kaplamalı karbürler
6. Çelik için sinterlenmiş karbür	18. Frezeleme için kaplamalı karbürler
7. Değiştirilebilir sint. karbür uçlar	19. Paslanmaz için kaplamalı karbürler
8. Seramikler (CC)	20. Coronite (N)
9. Sentetik elmaslar	21. İyileştirilmiş sermetler
10. İyileştirilmiş sinterlenmiş karbürler	22. Vida çekme için kaplamalı karbürler
11. Sermetler (CT)	23. Yeni nesil sinterlenmiş karbürler
12. Özel sinterlenmiş karbürler	

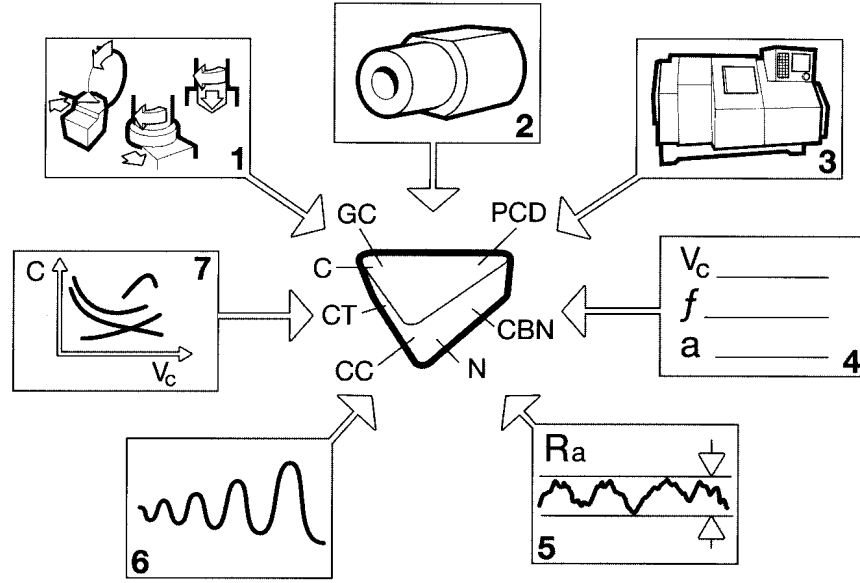
Şekil 5.1. Talaşlı imalat alanında kullanılan kesici takımlar



Şekil 5.2. Kesici takım malzemelerinin gelişimi ve işleme zamanı

Kesici bir takım metali o metalden daha sert olduğu için keser. Bir işlem için uygun kesici takımın seçimi, takım malzemesi ve geometrisinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerden etkilenir (Şekil 5.3):

- İşlemin tipi
- İş parçasının şekli ve malzemesi
- Takım tezgahı
- Kesme verileri
- Arzu edilen yüzey kalitesi
- Genel rijitlik
- İşleme maliyetleri



Şekil 5.3. Takım seçimini etkileyen faktörler (Çakır 2000)

İşlem ile ilgili faktörler işlemin kaba veya ince, sürekli veya kesintili bir işlem olup olmaması ve işleme payları ile ilgilidir. İş parçası genellikle malzemesi, malzemenin yapısı, sertliği, mukavemeti, malzeme afinitesi, yüzey yapısı ve içerisinde bulunan sert parçacıklar ile karakterize edilir. Takım tezgahı için çalışma koşulları, güç, rijitlik, sistemde mevcut mekanizmalar, kesme hızı ve ilerleme kapasitesi ve iş parçası tespit yöntemi dikkate alınmalıdır. Kesme verileri sıcaklığa ve kesici kenar üzerindeki gerilmelere, dolayısıyla takım malzemesine etkide bulunurlar. Arzu edilen yüzey kalitesi, bazı takım malzemelerinin diğerlerine göre daha iyi bir yüzey kalitesi sağlamaları nedeniyle takım malzemesine bağlıdır.

Bugün kesici takım malzemelerinin daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırmaları için önem taşıyan üç ana özellik vardır:

- Aşınmaya karşı dayanma kabiliyeti (aşınma direnci)
- Kırılmaya karşı mukavemet (tokluk)
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (kızıl sertlik)

Aşınma direnci (WR): Çeşitli aşınma tiplerine olan dayanma kabiliyeti olarak tanımlanır.

Tokluk (T): Genellikle eğilme direnci, kırılma direnci gibi çeşitli şekillerde ifade edilir. Ölçümlerin oda sıcaklığında yapılması nedeniyle talaş kaldırma işlemi esnasındaki durum ile ilgili tam bir bilgi vermez ve kenar yuvarlatmasının etkisini göz önüne almaz.

Kızıl sertlik (HH): Yüksek kesme hızlarının bir sonucu olan yüksek sıcaklıklar nedeniyle son derece önemlidir.

Takım malzemesinin doğru seçimi ekonomik bir talaş kaldırma işlemi için son derece önemlidir. Takım tezgahının kırılmış veya aşınmış takımlar nedeniyle durması verimliliği sınırlayan en belli başlı nedenlerdendir. Bu nedenle takım malzemesinin ve doğru takım kalitesinin seçimi çok önemlidir.

İdeal takım malzemesi şu özelliklere sahip olmalıdır :

- Sert olmalı, serbest yüzey aşınmasına ve deformasyona dayanmalıdır.
- Yüksek tokluğa sahip olmalı, çatlaklara ve kırılmaya direnç göstermelidir.
- İş parçası ile kimyasal reaksiyona girmemelidir.
- Kimyasal açıdan kararlı olmalı, oksidasyona mukavemeti yüksek olmalıdır.
- Isıl şoklara karşı iyi bir dirence sahip olmalıdır.

5.2. Sinterlenmiş Karbür

Sinterlenmiş karbür, sert karbür parçacıklarının ve parçacıklar arasında bulunan bir bağlayıcının sinterleme yoluyla bir araya getirilmesi sonucu elde edilir. Sinterlenmiş karbür bir bağlayıcı içerisindeki farklı karbürlerden oluşmuş bir toz metalürjisi ürünüdür. Bu karbürler çok sert olan tungsten karbür (WC),

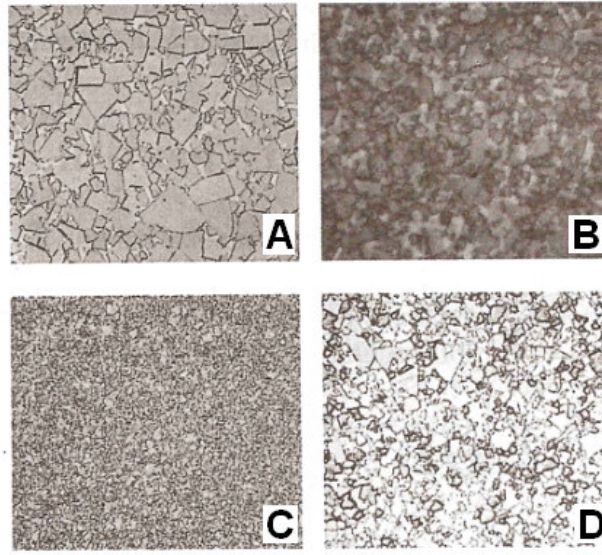
titanyum karbür (TiC), tantal karbür (TaC), ve niyobyum karbür (NbC) 'dür. Bağlayıcı olarak genellikle kobalt (Co) kullanılır.

Sinterlenmiş karbürler sahip oldukları özellikler açısından farklılıklar gösterirler, bazıları diğerlerinden daha sert, bazıları da ise daha toktur. Sinterlenmiş karbür uçların kaliteleri genellikle aşağıdaki özelliklere bağlı olarak belirlenir:

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

Metallerle, örneğin çeliklerle karşılaştırıldığında sinterlenmiş karbürler çok daha sert, çok daha yüksek basma mukavemetine sahip, ancak çekme mukavemeti açısından çok daha zayıf malzemelerdir. Yoğunlukları hemen hemen çeliklerin yoğunluğunun iki katıdır - bu durum titanyum esaslı kaliteler (sermetler) için doğru değildir, bu kaliteler daha hafiftir. Katılıkları çok daha yüksektir, elastisite modülleri çeliklere göre iki veya üç kat daha yüksektir – bu nedenle sinterlenmiş karbürler uzun delikler için delik kateri malzemesi olarak kullanılırlar, bu durumda sehim minimumdur. Isıl iletkenlik katsayıları çeliğinkinin yaklaşık yarısı kadardır – bu nedenle geçmişte sinterlenmiş karbürlerin lehimlenmesi son derece zor olmuştur. Şekil 5.4' te çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları gösterilmiştir. Şekilde (A) α ve β fazları kaba taneli (ISO K20), (B) α ve β fazları ince taneli (ISO K10), (C) α , β ve γ fazları ve büyük bir miktar bağlayıcı içeren (ISO P40), (D) kaba taneli α , β ve γ fazları ve küçük bir miktar bağlayıcı içeren (ISO P10) yapıları göstermektedir.

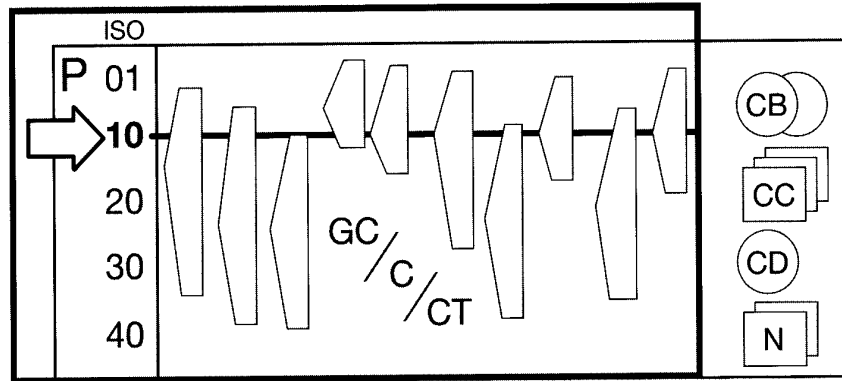
Sinterlenmiş karbürlerin çok geniş uygulama alanları vardır. Kaplamalı ve kaplamasız olarak, iş parçası malzemelerin büyük bir çoğunluğunun işlenmesinde başarıyla kullanılabilirler.



Şekil 5.4. Çeşitli sinterlenmiş karbür yapıları (Çakır 2000)

5.3. Sinterlenmiş Karbürlerin Sınıflandırılması




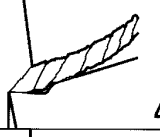


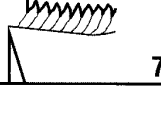
Birçok farklı sinterlenmiş karbür kalitesi üretilmiştir. Bu kalitelerin işlem, koşul ve malzemeler ile ilişkilendirilmesi için bir sınıflandırmaya gereksinim vardır. Farklı uygulama alanları ve iş parçası malzemeleri için farklı kaliteler geliştirilmiştir. Uygulama alanları grafik olarak sivri ucun en uygun kaliteyi gösterdiği dikdörtgen kutular ile temsil edilirler (Şekil 5.5)



Şekil 5.5. Uygulama alanları ve kaliteler (Çakır 2000)

Ana iş parçası malzemesi tipleri ve ilgili CMC (Coromant Malzeme Sınıflama) kodları aşağıdaki gibidir (Şekil 5.6):

1. Birçok çelikte olduğu gibi uzun talaş oluşturan malzemeler
2. Paslanmaz çelikler
3. Dökme demir gibi kısa talaş oluşturan malzemeler
4. Nikel esaslı alaşımlar gibi ısıl dirençli malzemeler
5. Alüminyum alaşımları gibi yumuşak malzemeler
6. Çil dökme demir gibi sert malzemeler
7. Titanyum

ISO		CMC
P		01 02 03 06
M		05 02
K		07 08 09
M		20 08 09
K		30 33
K		04 10
M		23

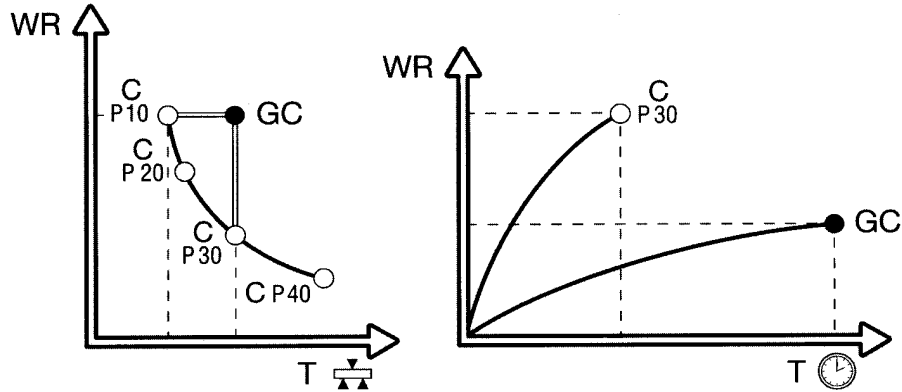
Şekil 5.6. İş parçası malzemesi tipleri (Sandvik 1994)

ISO sınıflandırma sistemi takım seçiminde sadece seçime hangi kaliteden başlanacağı hakkında bilgi verir. Bundan sonra yapılacak kesici takım üreticilerinden temin edilen malzeme tanımları kullanılarak uygun kalitelerin belirlenmesidir.

ISO sınıflandırma sistemi sadece sinterlenmiş karbürler ile ilgilidir, bu nedenle seramik, coronite, CBN, PCD gibi takım malzemeleri ile bazı iş parçası malzemelerini içermez (bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.)

5.4. Kaplamalı Sinterlenmiş Karbürler

Kaplamalı karbürlerin (GC) bulunması sonucunda tokluğun artmasıyla aşınma direncinin düşmesi gerektiği düşüncesi ortadan kalkmıştır. İlk ortaya çıkmalarından itibaren kaplamalı karbür malzemelerde elde edilen iyileştirmeler sonucu bu malzemeler en fazla kullanılan takım malzemeleri haline gelmişlerdir. Bugün, tornalama işlemlerinin % 75 'i, frezeleme işlemlerinin % 40 'dan fazlası kaplamalı karbür takımlar ile yapılmaktadır (Şekil 5.7).

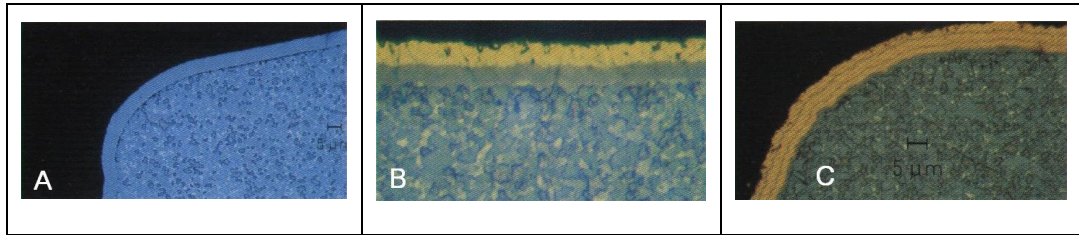


Şekil 5.7. Kaplamalı ve kaplamasız karbürlerin karşılaştırılması (Çakır 2000)

Tornalama işlemleri için ilk seçilecek sinterlenmiş karbür kaliteleri kaplamalı olanlardır. En belli başlı kaplama malzemeleri titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), alüminyum oksit - seramik (Al_2O_3) ve titanyum karbonitrür (TiCN) 'dür. Titanyum karbür ve alüminyum oksit yüksek aşınma direnci sağlayan, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen, takım ile talaş arasında kimyasal ve ısıl bir kalkan oluşturan, çok sert malzemelerdir. TiN o derece sert malzeme olmamasına karşın kesici ucun yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınması direnci sağlar. TiN 'in altın

sarısı bir rengi vardır. Kesici takıma TiCN ve TiAlN gibi düşük bir sıcaklıkta uygulandığı için tungsten karbürün yapısını fazla etkilemez.

Kaplamalı sinterlenmiş karbür uçlar tornalama, frezeleme ve delme uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda, çok çeşitli iş parçası malzemesi için ilk tercih edilecek uçlardır. Kaplama tabakaları tek veya daha fazla katmandan oluşabilirler. (Şekil 5.8)



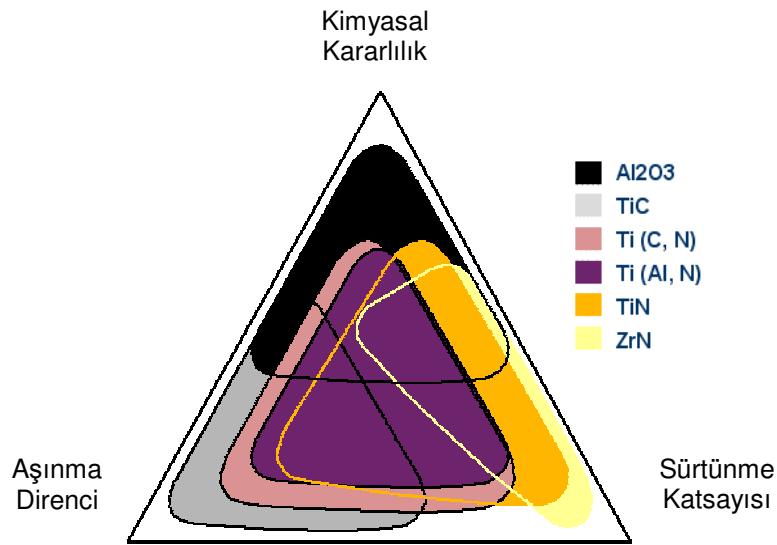
Şekil 5.8. A – Tek, B – İki, C – Çok katlı katmanlar (Sandvik 1994)

5.5. Kaplamalar ve Kaplama Teknolojileri

Sert kaplamalar özellikle takımın aşınmasını geciktirdiği ve takım ömrünü arttırdığı için büyük ilgi çektiler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 6 kaplama tipi mevcuttur. Bunlar; TiN (Titanyum Nitrür), TiC (Titanyum Karbür), TiCN (Titanyum Karbonitrür), TiAlN (Titanyum Alüminyum nitrür), Al₂O₃ (Alüminyum Oksit) ve CrN (KromNitrür). Her biri farklı mekanik, kimyasal ve termal özellikler sunarlar. Uygulamada bu kaplama malzemelerine, sahip oldukları özellikler çerçevesinde bir değerlendirme yapılmalıdır.

Kaplamalı takımların ortaya atılmasından sonra bir ölçüde bu konuda bir başarı sağlanmış, hem sert hem de tok bir yapı elde edilmiştir. Fakat frezeleme, tornalama, delik delme, delik işleme, planya ve vargel gibi farklı işlemler için ortak bir takım malzemesinin bulunmasının, her işlem için farklı takım özellikleri gerektiği dikkate alındığında, çok kompleks bir konu olduğu görülmektedir.

Yaygın olarak kullanılan kaplama malzemelerinden biri olan TiN, kaynak oluşumu şeklinde oluşan aşınmayı azaltır ve talaş ile sert metal uç arasında sürtünmeyi önleyici bir ara tabaka gibi rol alır. Oksidasyon direncinin gerekli olduğu ve termal yüklerin ön planda bulunduğu uygulamalarda TiAlN kullanılmaktadır. Abrazyonun baskın olduğu veya sert metallerin işlendiği uygulamalar için TiCN kaplamalar tercih edilir. Kimyasal kararlılık ve yüksek sertlik gerektiğinde ise Al_2O_3 seçilir. Çok katlı kaplamalarda ise her kaplama tabakasının özelliği belli oranda takım performansını olumlu etkilemektedir. (Şekil 5.9)



Şekil 5.9. Kaplama tabakalarının özellikleri (ISCAR 2000)

Yüze kaplama yapılmasında bir gaz fazın sert metal üzerine yoğunlaşması esaslı kullanılır. 1970' lerde Gamma kaplama adı ile ortaya çıkan ilk kaplama sinterlenmiş karbür Üzerine CVD yöntemi ile birkaç mikron kalınlığında çok ince taneli TiC kaplanmasıydı. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) ve PVD (fiziksel buhar biriktirme) en önemli kaplama teknikleridir. Düşük sıcaklıkta uygulanması PVD için avantaj olsa da CVD kaplamaların yapışma özellikleri daha iyidir. Bu kaplamalarla aynı temel prensibe sahip fakat geliştirilmiş kaplama teknikleri de mevcuttur. Plasma CVD, Magnetron Püskürtme PVD gibi.

5.5.1. ETA Fazı

Takım kaplayıcıları farklı kaplamaları çok katmanlı şekil içinde birleştirerek daha yüksek performans seviyeleri elde etmektedirler. Çok katlı kaplamaların çıkış noktası, bütünün, kendini oluşturan parçalardan daha kuvvetli olması ilkesine dayanır. Buna rağmen farklı kaplama kombinasyonları her zaman performans artışını garanti edemezler. Birçok kaplamanın başarısı biriktirme işlemi esnasında oluşan eta fazına bağlıdır.

Kaplamanın kesici takım performansı üzerindeki etkisini belirleyen faktörlerden biri tane boyutudur. İnce taneli kaplamalar kaba tanelilere göre daha iyi aşınma direnci gösterdikleri bulunmuştur. Tane yönlendirmesinin kaplama performansını etkilediği bilinmektedir. Performansı tane boyutundan ve tane yönlendirmesinden daha fazla etkileyen bir diğer faktör ise kaplamanın yapışmasıdır. Teknik olarak dile getirilirse, kaplamanın yapışkanlığı, prosesin ilk aşamasında sinterlenmiş karbür takımın yüzeyinde oluşan ara yüzeysel reaksiyonların oluşumuna bağlıdır. Daha kuvvetli yapışkanlık, daha uzun takım ömrü demektir. Eğer yapışma kötü olursa, kaplamalı karbür kaplanmamış karbür kadar bile performans gösteremeyebilir çünkü kaplama işlemi sırasında takım ana malzemesinde değişiklik olabilir. Belirli kaplama şartları altında karbon ana malzemedan ayrılabilir. Bundan dolayı da ana malzemeyi zayıflatır. Bu ana malzemedan karbon taşınımı ve oluşturduğu boşluk genellikle eta fazı olarak adlandırılır. Eğer kaplama ana malzemesinin bu zayıflığını kapatacak (yapıya ilave olup takımın tüm dayanımlarının artırılması) şekilde iyi yapılmazsa, sonuç düşük performans ve düşük takım ömrü olabilir.

Kimi kaplama üreticileri eta fazının önlenmesinin kontrol edilmesinden daha iyi olduğunu düşünüyorlar. Bunlara göre eta fazının oluşmasını önlemek için, PVD kaplamaları CVD kaplamalara tercih ediyorlar. Çünkü PVD işlemi klasik CVD işleminden çok daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve ana malzemeyle kimyasal bir reaksiyon gerektirmez, ana malzemedan karbon difüzyonu gerçekleşmez. Karbon difüzyonu olmadan da eta fazı oluşmaz. Buna rağmen CVD genellikle PVD den daha iyi kaplama yapışması sağlar. PVD kaplama yönteminin CVD yöntemine alternatif olarak seçilmesinde bazı

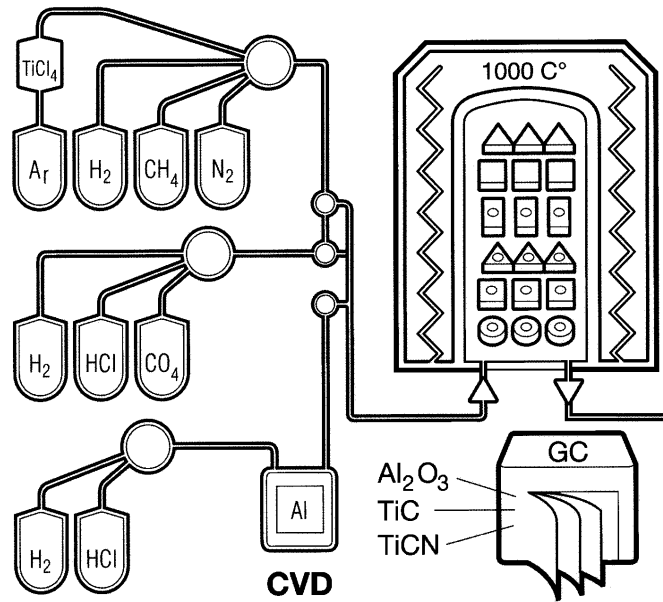
nedenler vardır. PVD takıma düşük sıcaklıklarda uygulanır, PVD daha incedir ve keskin kenarlar için bazen daha uygundur. Fakat yapışmanın daha iyi olması istendiği yerlerde eta fazının olmaması nedeniyle uygun çözüm değildir.

Çok katlı CVD kaplamalar ile bazı takım kaplayıcılar, eta fazının oluşumunu önlemek için taban tabaka olarak TiC yada TiCN den farklı olarak başka malzeme tabakalarını seçerler. Örneğin TiN gibi malzemenin taban tabaka olarak kullanımı ana malzemedan kaplama içine karbon difüzyonunu önler. Ana malzemedan karbon difüzyonu olmadığı için biriktirme başlangıcında sinterlenmiş karbür yüzeyinde ara yüzeysel reaksiyonlar oluşmaz. Ara yüzeysel reaksiyonların olmaması nedeniyle, bu alt kaplama tabakası bağlı PVD ile oluşan bağa benzer.

Birçok faktör kaplama işlemi seçiminde dikkate alınmalıdır. İlk ve en önemli olan faktör, kaplamanın kullanılacağı uygulamalardır. Bu CVD yada PVD işlemlerinde hangisinin uygun olacağını belirler. İkinci faktör ise kaplama tabakalarının seçimidir. TiC veya TiCN' ü taban tabaka olarak kullanmak ve eta fazının mükemmel kontrolü, ana malzeme ile en yüksek seviyede yapışmayı sağlar. Eta fazını kontrol eden faktörler de incelenmelidir. Eta fazını minimize etmek ve oluşumunu tam olarak kontrol etmek için, uygun kaplama fırınları ve bilgisayar kontrollü işlemlerin kullanılması gerekir. Eğer fırın yada bilgisayar işlemleri dekarbürizasyon şartlarını oluşturuyorsa oluşan aşırı eta fazı takım ömrünü ve performansını arttıran kaplama işlemini olumsuz etkiler. Hatta kaplanmamış takımda daha kısa takım ömrüne neden olur. Bunun tersi olarak da eğer eta fazı oluşumu kontrol edilirse, ana malzemeyle, eta fazı olmaması durumunda, daha iyi yapışma sağlanır, daha uzun takım ömrü elde edilir. Eta fazı oluşumunu kontrol etmek için işlemde insan faktörünü ortadan kaldırıp maksimum bilgisayar kontrollü sistemi devreye sokulması gerekir. Bilgisayarlaştırılmış işlem kontrolleri, uygun eta fazı oluşumu için uygun imkanlar sunarlar.

5.5.2. Kimyasal Buhar Biriktirme CVD (Chemical Vapour Deposition)

Kimyasal buhar biriktirme olarak adlandırılan bu yöntem genelde yüksek sıcaklık gerektirir. Temel prensip, buhar fazının aktive edilmiş (genelde ısıtılmış) malzeme üzerine kimyasal reaksiyonlar sonucu biriktirilmesine dayanır. Kaplamalar genellikle yüksek derecede saflık gösterirler, çok homojendirler ve iyi yapışma özellikleri vardır. CVD işleminde gazlı kimyasal reaktantlar (tepki veren gazlar), reaksiyon odasına taşınırlar. Burada aktive edilirler ve ana malzeme yüzeyinde katı biriktirme oluşturan reaksiyonlar meydana gelir. Kaplanacak malzemenin aktive edilme şekline göre termal CVD (klasik CVD, sıcaklıkla aktive edilen), HF-CVD (sıcak telle aktive edilen), PA-CVD (plasma destekli CVD, radyo frekansı, mikrodalga ile aktive edilen) CVD yöntemleri birbirinden ayrılırlar. CVD işlemleri çok katlı kaplamalarda başarı ile uygulanan bir yöntemdir. (Şekil 5.10)



Şekil 5.10. Kimyasal buhar biriktirme (Çakır 2000)

CVD teknolojisi daha iyi bir yapı elde edilmesi için kullanılan bir kaplama teknolojisidir. Bu teknolojiye çok üstün bir aşınma direncinin sağlanmasının yanı sıra kenarın tokluğunun korunması da söz konusudur.

Kaplamalı takımların ilk gelişimi, karbür uçlar üzerine çok ince sert bir tabakanın CVD metoduyla kaplanmasıdır. Bu işleme, 1970'li yıllarda başlanmıştır. CVD işlemi, buhar aşamasından çıkan katı malzemenin bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu ısıtmaya yakın malzeme üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanır. CVD işlemleri tek element veya bileşiklerinden yapılan kaplamaların üretilmesindeki kullanışlılığı nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılır. Kaplamalar genellikle yüksek derecede saflık gösterirler ve çok homojendirler. İnce kaplamalar bu tarzda birkaç olağanüstü niteliğe sahip özellikler gösterir. Bunlardan bazıları şunlardır; İşleme sırasında kaplamalar yağlayıcı madde görevindedirler, sürtünme katsayısı azalmaktadır böylece aynı zamanda aşınma dayanımı için artı değer oluşur. Bundan dolayı CVD kaplanmış sert metal kesici takımlarda takımın desteklenme süresinde çok büyük artışlar görülmektedir. Bunun yanı sıra kimyasal endüstrisinde çok yararlıdır.

CVD metodu, mevcut olan birçok uygulama doğrultusunda yeterli olarak kullanılmaktadır. CVD çok yönlüdür, şartlara uyar, basittir, tekrarlanabilir, verimlidir ve maliyeti düşüktür.

CVD kaplama, bugün hemen hemen tüm kesici uç malzemeleri için yaygın olarak kullanılabilen bir yöntemdir. Kaplama tabakası uniform ve homojen, kaplama tabakaları ve ana malzeme arasındaki yapışma mükemmeldir. Tok bir ana malzeme üzerine kaplanan alüminyum oksit, kaplamalı kesici uca yüksek performans ve güvenilirlik sağlar.

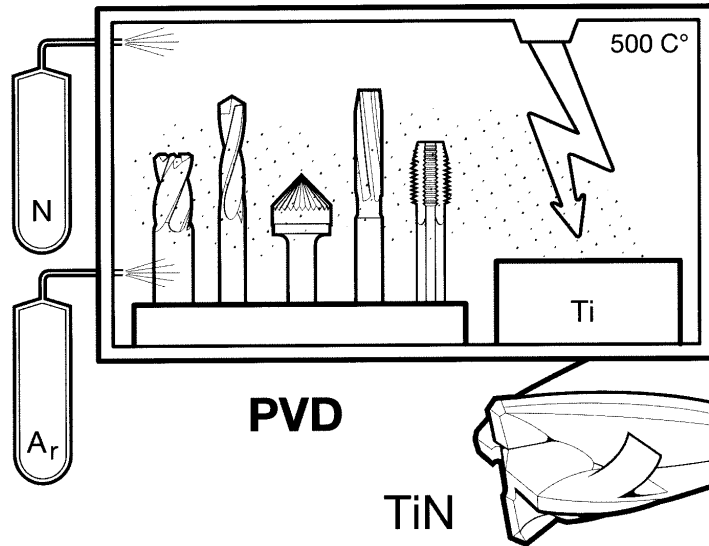
5.5.3. Fiziksel Buhar Biriktirme PVD (Physical Vapour Deposition)

1950' li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgahlar üretilmiştir. Bu tezgahların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu çıkmıştır. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.s.

gibi sert tabakalar kaplanmaya başlandı. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermedi. Bunun nedeni CVD (Chemical Vapour Deposition) adı verilen yöntemle 1000-2000 °C gibi sıcaklıklarda kaplama yapılabildiği için hassas olarak işlenen ısı işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri ve yüksek hız çelikleri), sertlik kaybına ve ölçülerin değişmesine neden olmaktadır.

Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960' lı yılların sonunda Amerika' da ION - PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Bu metot 200 – 500 °C arasındaki sıcaklıklarda, ısı işlem görmüş takım çeliklerini kaplama imkanı sağladı. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek teknolojik anlamda kaplama yapılması 1970' li yıllarda ION - BOND metodu ile mümkün oldu.

PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemi sürtünmeyi, korozyonu ve aşınma özelliklerini geliştirmek için takımlara uygulanan bir başka kaplama yöntemidir. Bir vakum odasında gerçekleşir ve sonrasında yoğunlaşarak yüzeyde kaplama şeklinde form oluşturacak buhar oluşturulur (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Fiziksel buhar biriktirme (Çakır 2000)

İki PVD işlem yöntemi; buharlaşma ve püskürtmedir. Bu iki yöntemin birleşmesine ise iyon kaplama adı verilir. Buharlaştırma işlemi ocakta suyu kaynatmaya benzer fakat burada kaplama malzemesi vakum odasında ısıtılır. Püskürtme işleminde ise buhar momentum transferi ile ısıtılır yani iyonlar hedef (kaplama malzemesi) yüzeye çarpar ve atomları hareket ettirirler. Buhar oluşumu da bu vesile ile sağlanır. Daha sonra oluşan bu buhar kaplanacak yüzey üzerinde yoğunlaşır ve kaplama tabakası meydana getirir. Bir PVD vakum kaplama makinesi örneği şekil 5.12' de gösterilmiştir.

Kaplama alanındaki çalışmalar ve metotlar sürekli artmakta, özellikle PVD yaygınlaşmaktadır ve talaşlı imalatta kaplanmış takımlardan yararlanmak için PVD kaplamadan en yakın zamanda kullanmak gerekir. İlk olarak 1980 yılında TiN kesici takımlar PVD metodu ile kaplanmıştır. Bu metodun büyüdüğü kabul edilerek alaşım nitrürleri mesela TiCN ve TiAlN TiN dan daha üstün bir performans göstermişlerdir. Bu metot emniyetlidir. Talep edilmesiyle performans

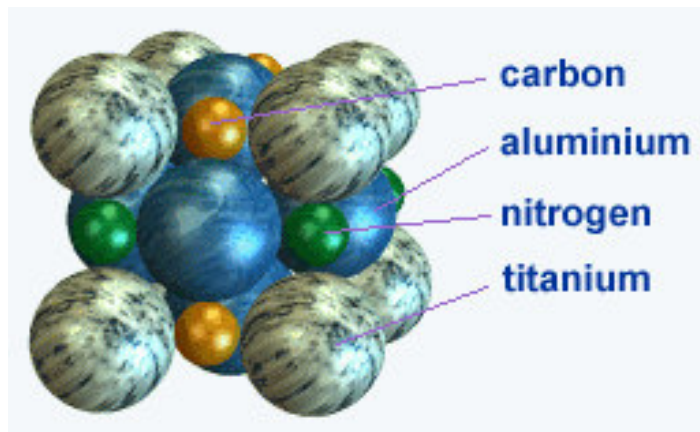


Şekil 5.12. PVD vakum kaplama makinesi örneği (www.pvd-coatings.co.uk)

değeri artmıştır. Fakat ticari şartlarda PVD kaplamanın değişkenliğinden dolayı bu, daima doğru olmamıştır. Gelecek on sene üzerinde PVD dışarıya açılacaktır. Laboratuvar araştırmalarında kaplamanın birçok yeni özelliği ortaya çıkmıştır.

Takım malzemesinin geometrisi, PVD tekniklerini kullanıncaya kadar parça sınırlayıcıdır. Bu metotla kaplama yapılacak yüzey öncelikle düşük basınçlı bir vakum bölgesinde soy gaz iyonuyla temizlenir ve bu bölmedeki basınç azaltılır. Bu bölümün kendine has sıcaklığı vardır ve bu sıcaklığa yavaş yavaş getirilir. Kaplamalarda kullanılacak metal atomları boşluğun içinde elektrik ark vasıtasıyla buharlaştırılır, iyonlaştırılır ve takım yüzeyi yüksek voltajla nitrojen gaz kabında karıştırılır. Pozitif iyonlu titanyum plazma ile negatif iyon örtülü olan parça birbirini çeker. İyon bağları parçaya kalınlık sağlar ve dış yüzeyinde sert ince tabaka oluşturur.

İşlem tipi, işlem sıcaklığını ve böylece de kaplamanın özelliklerini, yüzey tokluğunu belirler. Genellikle hız çelikleri dahil olmak üzere sinterlenmiş karbür kaplanmasında kullanılan bu teknikte işlem sıcaklıkları CVD deki Sıcaklığın yarısı kadardır. (500 °C). PVD işlemi parmak frezeler, matkaplar ve bazı durumlarda vida çekme takımlarındaki gibi belli profile sahip, keskin takımların kaplanması için daha uygundur. Bu işlemde kaplama malzemesi, bir malzeme kaynağından kesici uç ana malzemesi üzerinde gönderilmesi şeklinde olur. PVD tabakası CVD tabakasından daha incedir. PVD prosesleri arasındaki ayırt edici fark katı (genelde metalik) malzemenin buharlaştırılmasında ortaya çıkmaktadır. Tüm işlemlerde reaktif gazlar (örneğin N_2 , CH_4 , O_2 , C_2H_2), sert kaplama malzemesi oluşturmak için sisteme ilave edilmektedir.



Şekil 5.13. TiAlCN tipi kaplamada kafes yapısı (www.pvd-coatings.co.uk)

PVD tekniği ile yapılan kaplamaların özellikleri;

1. Isıl işlem gömüş takım çeliklerinin 180 - 1600 °C arasında kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması
2. Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi
3. Sık dokulu kristal tabaka yapısının olması (Şekil 5.13)
4. Çok ince (1-5 flm) kaplama yapılabilmesi ve parça toleransının muhafaza edilmesi
5. Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi
6. Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi
7. Takımların ve kalıpların bilendikten soma tekrar kaplanabilmesi
8. Kaplamaların sökölerek tekrar kaplama yapılabilmesi

Ülkemizde bu anlamda ilk ve en büyük faaliyet 1994 yılında İTÜ-TİTANİT-MTE-ARÇELİK ve PVD kaplama konusunda faaliyet gösteren başka bir firmanın da ortaklaşa projesi olarak başlatılan "NATO-TU-PVD Sert Seramik Kaplamalar" projesi olmuştur. Bu proje sonunda Ülkemizde daha önce kullanımı çok az olan ve endüstride fazla tanınmayan sert seramik kaplamaların kullanımı yaygınlaşmış ve İTÜ Metalürji Mühendisliği bölümünde bu alanda faaliyet gösteren ve uluslararası boyutta çalışmalar yapan iki adet araştırma laboratuvarı kurulmuştur.

5.6. Kaplamalar ve Özellikleri

En belli başlı kaplama malzemeleri TiC, TiN, TiCN, Al₂O₃(Alüminyum oksit seramik), TiAlN' dır.

- **TiN (Titanyum nitrür)** : Altın sarısı renginde olup en çok kullanılan kaplama malzemelerinden biridir. Sertliği 2900 HV değerindedir. 550 °C ye kadar termal kararlılık gösterir. İyi korozyon ve aşınma dayanımı ile geniş bir uygulama alanı vardır. Talaş ile sert metal uç arasında sürtünmeyi önleyici bir ara tabaka gibi rol alır. Bu sürtünme katsayısı talaş akışına yardımcı olur, iş parçası malzemesinin kesici takımda yığma kenar oluşturmasını engeller ve kesme kuvvetleri ile takım ısınmasını düşürür. Demir esaslı malzemelerde, sertleştirilmiş çeliklerde ve paslanmaz çeliklerde kullanılır. PVD ve CVD yöntemleri ile kaplama yapılabilir.
- **TiCN (Titanyum Karbonitrür)** : Kırmızımtırak - siyah rengindedir. TiN' nin değişik bir türü olup, daha yüksek sertliğe (sertliği 4000 HV'ye kadar çıkabilmektedir) ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Çeliklerde aşınımı azaltıcı ve ısı iletkenliğini artırıcı (ısı iletim katsayısı diğerlerine göre nispeten yüksektir) etkisi mevcuttur. Termal kararlılığını 350 °C' ye kadar koruyabilir. TiCN çok iyi yapışma özelliğine ve çok yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu sebepten dolayı çok katlı kaplamalarda ara kaplama tabakası olarak kullanılır. Üstteki tabakalara ilave aşınma direnci özelliği kazandırır. Aralıklı kesme işlemlerinde (frezeleme gibi) daha uygundur. Mekanik şokların sebep olduğu ve kesme köşesinin kırılması ile sonuçlanan uygulamalarda düşük sürtünme katsayıları ile TiCN çok verimlidir. Kaplama kalınlığı 2 – 4 mikron arasında değişir. TiC ve TiN arasında bir karışımdır. TiCN kaplamanın uzayabilme kabiliyeti çok düşüktür. Uzayabilme kabiliyeti % 0.2 - 0.3 arasında değişir.
- **TiC (Titanyum Karbür)** : Gri renktedir. Oldukça sert bir kaplamadır. Dolayısıyla mekanik sürtünme sonucu oluşabilecek uç aşınmalarını

geciktirir. İlk kullanılan kaplama malzemesidir. Artık pek uygulama alanı yoktur. 3000HV sertliği vardır.

- **TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür)** : Kaplama Ti:Al oranına bağlı olarak siyah ila bronz arası bir renge sahiptir. Diğerlerine nispeten yeni ve performanslı bir kaplamadır. En gelişmiş kaplama yöntemi olup, sertliği 3300 HV 'dir ve 800°C 'ye kadar dayanım gösterir. Yüksek aşınma direnci, ısı direnci, kimyasal kararlılık gibi özellikleri bünyesinde barındırır. Yüksek hızlarda çalışmaya, kuru kesme işlemlerine, termal kararlılığı ve ısı direnci sayesinde oldukça uygundur. Düşük sürtünme katsayısı ile çok yönlü kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çok amaçlı kullanıma uygun olan bu kaplama biçimi, aynı zamanda demir dökümünde, alüminyum alaşımlarında ve plastik malzemelerin kalıba geçirilmesi esnasında oluşan sürtünmeyi ve yapışmayı azaltmak için de kullanılır. Hızlı kesme işlemlerinde kesici kenarda iş parçası ve takım arasında termal ve kimyasal set oluşturan Al_2O_3 oluşur. Oluşan bu Al_2O_3 kaplama tabakasını koruyan bir kalkan görevi görür ve takım ömrü üzerine pozitif etkide bulunur. Oksidasyon dayanımı yüksektir. Krater aşınmasına daha dayanıklıdır.
- **Al_2O_3 (Alüminyum Oksit)** : Kimyasal kararlılığı ve kızıl sertliği yüksek bir malzemedir. Sertliği 2300 HV' dir. Isıl iletkenliği çok azdır. Şeffaf renktedir. Yüksek aşınma direncine sahip fakat kırılğan bir yapısı vardır. Tok bir yapı üzerine uygulanır ve kesici uç yapısını güçlendirir. Bu nedenle ısı zorlanmalardan gelen aşınmaları geciktirir. TiC 'ün üzerine kaplanmış Al_2O_3 (Alüminyum oksit) yeni bir uygulamadır. Tok ve aşınma direnci yüksek yapı üzerinde - %100 sert partiküllerin bulunması nedeniyle - kesici uç yapısını daha çok iyileştirmiştir.
- **CrN (Krom Nitrür)** : Oldukça yumuşaktır (1800 HV). Diğerlerine nazaran parça üzerine kaplama kalınlığı daha ince olup, korozyona dayanımı diğerlerinden daha iyidir. 700°C 'ye kadar dayanabilir.

- **CrC (Krom Karbür):** Krom karbür kaplaması TiN ve TiCN gibi sert değildir (78 Rc) ve düşük yağlama kalitesine sahiptir. Bakır, zirkonyum, nikel ve titanyum alaşımlarını işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. 1300°F' da mükemmel bir termal kararlılık gösterir. Yapışkan malzemeyi işlemede, takımların kesici kenarında korozyon dayanımını ve oksidasyon dayanımını muhafaza etmek avantajlarındandır.
- **Elmas Kaplama :** Elmas kaplamalar aşırı derecede sert kaplamalardır (Sertliği yaklaşık olarak 11000 HV dir). Elmas kaplamalar kalıp endüstrisi takımlarına, demir esaslı olmayan yüksek aşınma uygulamalarına ve bazı malzemelere göre daha üstündürler. Elmas kaplamalar normalde yaklaşık olarak 1-10µm yada 50-200µm kalınlığında ve genellikle 500-1000°C arasında sıcaklığında yapılmaktadır. Bu kaplama ile ileri derecede sertlik, yüksek aşınma dayanımı ve yüksek ısı iletkenlik dahil olmak üzere bir çok istenen işleme özellikleri sağlanır. Alüminyum, bakır, pirinç ve bronz gibi demir esaslı olmayan malzemeler ile grafit ve volfram karbür gibi parçaların işlenmesinde de elmas çok uygundur. CVD elmas kaplanmış karbür takımlarda, aşınma dayanımı ve yapışma çok iyidir. Mukavemet, kaplamanın dayanımını sınırlar. Çok kristalli elmas (PCD) kırılma özelliği yüksek olan uygulamalar için daha uygundur. PCD içindeki kobalt bağlayıcı, kırılmaya ve yontulmaya karşı büyük dayanıklılık gösterir. Ancak, kobalt aynı zamanda PCD' nin zayıflığının kaynağıdır. PCD' nin sertliğini azaltır. CVD elması, PCD' den 2-10 kat büyük aşınma dayanıklılığı, yüksek ısı iletkenliği ile daha iyi kimyasal ve termal kararlılığı gösterir.

6. TAKIM ÖMRÜ

6.1. Giriş

Kesme işlemleri sırasında önemli olan takım ömrünün aşınma nedeniyle tamamlandığı anın belirlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. F_s kesme kuvveti talaş kaldırma işlemleri sırasında takımın aşınma miktarı ile orantılı olacak şekilde, lineer olarak artmakta, takımın ömrünü tamamlaması anında kesme kuvvetinde büyük bir artış görülmektedir (Choi 1997).

Genelde talaş kaldırma olayı: iş parçası, takım , tezgah ve proses olmak üzere dört faktöre bağlıdır. Kesme işlemine etki eden ve optimum talaş kaldırma işlemi için değiştirilebilen faktörler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır. Bu oranlar şunlardır.

- Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması takım ömrünün %15 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması takım ömrünün %60 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- Kesme hızının % 50 oranında artması takım ömrünün %90 oranında azalmasına neden olmaktadır (Işık 2001).

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım uçunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir

denge kurulmalıdır. Üretim hızını etkileyen diğer faktörler;

- Tezgah gücü (talaş iletim oranını sınırlar)
- Yüzey pürüzlülüğü (ilerleme miktarını sınırlar)
- Tezgah rijitliği (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğini sınırlar)
- Talaş kaldırma rijitliği (talaş derinliğini sınırlar)

6.2. Takım Ömrü

Talaşlı imalat alanında en önemli hususlardan biri en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Tamamıyla takım - iş parçası malzemesi çifti, kesme koşulları, takım tezgahı, kesici takım bağımlı olan bu işlem son derece zordur.

Talaş kaldırma işlemleri takım, iş parçası, kesme sıvısı veya bir başka ara elementin yanı sıra hız, kuvvet ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenen işlemlerdir. Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artışına neden olmaktadır. Modern endüstride kesici takım maliyetinin toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemesi optimizasyon işlemlerini zorunlu hale getirmektedir. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve aşınma takımlar ömürleri tamamlayana kadar devam eder (Akkurt 1991).

Kesici takım ömrü her zaman sınırlıdır. Takım aşınmasına etki eden faktörler kesme işlemine bağlı parametrelerdir. Kesici takımın kırılması talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlı olup çoğunlukla takım ömrü kriterleri takım aşınmasına göre belirlenir. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak takım doğru seçilmiş olsa bile işleme koşulları özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren koşullar standart dışı ise optimum takım ömrü elde edilemez. Bağlama elemanlarının rijit

olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır.

Üretimin oluşması için, makine-teçhizatın, kesici takım ve operatör üçlüsünün belirli bir uyum içerisinde çalışma zorunluluğu vardır. Ülkemizde makine-teçhizat ve kesici takımlardan tam kapasite yararlanılmamaktadır.

Bu çalışmada bu faktörlerinden yalnız kesici takımlar göz önüne alınarak, kaplamalı kesici uç plaketlerinde aşınmanın etüdü yapılmış, aşınmayı etkileyen bütün faktörler detayları ile verilmiştir.

Kesici takımların ömürlerinin saptanması için işletmelerde çeşitli talaş kaldırma deneyleri yapılmış olup, kesici takımlarda talaş yüzeyi üzerinde krater aşınması, serbest yüzey üzerinde bir aşınma şerit genişliği ayrı ayrı incelenmiştir.

Optimum çalışmada kesici takımların yeni ve körlenme başlangıcındaki talaş teşekkülündeki değişimler saptanmıştır.

Yapılan bu çalışmada, günümüzde önemli miktarda yüksek ücret ödeyerek temin ettiğimiz kesici takımları yalnız temin fiyatı göz önünde alınarak karşılaştırma yapılması yerine, kesici takımlar optimum çalışma şartlarında kullanılarak, ömür yönünden karşılaştırılması ve parça başına takım maliyet kontrolü yaptıktan sonra karar verilmesi halinde önemli kesici takım tasarrufu sağlanabilecektir. Ülkemizde metot mühendislik Şubelerinin veya endüstri mühendislik şubelerinin bu tür çalışmaları yapmaları halinde, hem bağlı olduğu kuruluşlara hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır (Avuncan 1989).

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklık takım aşınmasına neden olur. Sürtünme, parçadan ayrılan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı yüzey (talaş yüzeyi) arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye bakan yüzeyi (serbest yüzey) arasında meydana gelmektedir.

Talaş kaldırma işleminde oluşan sürtünme makine elemanlar) arasında meydana gelen sürtünmeden farklıdır. Farklılık, talaş kaldırma olayındaki sürtünmenin sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle takım aşınması, çeşitli aşınma şekillerini kapsayan çok karmaşık bir olaydır. Talaş kaldırma işleminde takım aşınması, belirlenmesi gereken en önemli karakteristik parametrelerden biridir.

Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli faktör üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretimin devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve yan yüzeyde oluşan aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini artıracaktır.

6.3. Taylor Takım ömrü Denklemine Elde Edilmesi

Talaşlı imalatta karşılaşılan en önemli sorun, kesici takım aşınmasının zamanında tespit edilememesidir. Aşınmış bir kesici ile yapılan talaş kaldırma işleminde, kesici takımın tezgaha verebileceği zararların yanında istenen parça boyutlarını ve yüzey kalitesini elde etmek de imkansız hale gelir. Ayrıca, keskinliğini kaybetmiş olan kesici takıma etkiyen direnç kuvvetlerinin artması, kesme işlemi için gereken enerjiyi artıracığından maliyet de artmış olur.

Bu tip sorunların önlenmesi ancak kesici takım aşınmasının zamanında tespit ederek kesici takımın değiştirilebilmesini sağlayacak bir adaptif kontrol sistemi ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenden dolayı kesici takım aşınmasının işlem esnasında kontrolü ve analizi üzerine yapılan çalışmalar kesme işleminin optimizasyonu açısından büyük önem kazanmaktadır. Kesici bir kenar için takım ömrü, kenarın kesme süresince belirli bir işleme kriterini sağlayıp sağlamamasına bakılarak belirlenir.

Bir işlemin verimliliğinin belirlenmesi için en önemli kriterlerden biri takım ömrüdür. Oluşan takım aşınması miktarının ölçülmesi, aşınmanın bir analizinin yapılması ve sistematik bir yaklaşıma uygun olarak hareket edilmesi optimizasyon açısından çok önemlidir.

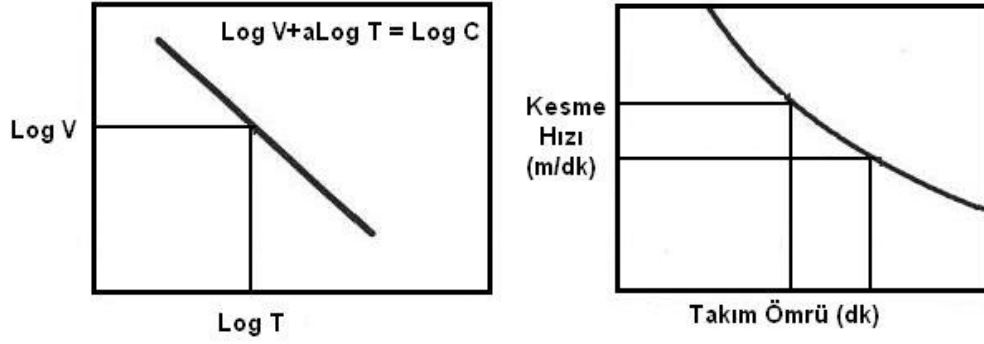
Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar. Enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiği gösterir ve takım körleninceye kadar olan toplam işleme zamanı takım ömrü olarak adlandırılır. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımında kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde (T) ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Talaş kaldırma ile ilgili ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. Taylor kesme hızlarının takım ömrü denilen ve takımın iki bilemesi arasındaki süreyi ifade eden kavrama bağlı olduğunu deney verilerine bağlı olarak ifade etmiştir. Şekil 6.1' de kesme hızı ve takım ömrü ilişkisine ait Taylor bağıntısı görülmektedir. Takım ömrü Taylor bağıntısı ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$V \times T^n = C^m \quad [6.1]$$

V = Kesme hızı (m/dk), T = Takım ömrü (dk), n = Test edilen durum için kesici takıma ait sabit, C^m = bir dakikalık takım ömrü için kesme hızı, n değerleri; ortalama olarak hız çelikleri için 0,15; sert metaller için 0,3; seramik için 0,6' dır. Taylor bağıntısı daha sonra kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak yapılan çalışmalar ile;

$$T = \frac{C^m}{V^k \times f^m \times a^p} \quad [6.2]$$

olarak ifade edilmiştir. Burada $k > m > p$ takım malzemesine bağlı sabitlerdir. Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığı etkilemektedir. Bu nedenle belirli bir takım ömrü için kaldırılan talaş hacminin artırılması için önce paso kalınlığının, sonra ilerlemenin ve en son kesme hızının artırılması uygun olacaktır (Akkurt 1993).



Şekil 6.1. Taylor bağıntısı (Akkurt 1986)

Kesici ucun aşınma ve kırılmalarla tamamen kullanılamaz hale gelmesi istenmeyen bir durumdur. Bunun sonucu takım masrafları çok artar. Her türlü talaş kaldırma işlemi için en iyi takım ömrünün bulunması ekonomik işleme açısından çok önemlidir. Kesici takımların kullanılamaz duruma gelmesi genel olarak iki grupta toplanır (Trent 1984).

- Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki dereceli veya sürekli aşınma
- Takımın belirlenen ömründen önce aşınmasına neden olan hatalar

Takım aşınma tipleri gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Bu durum, işlem ve iş parçası malzemesi için takım kalitesinin ve işleme koşullarının doğru seçimi sayesinde gerçekleştirilir.

7. KESİCİ TAKIMLARDA AŞINMA

7.1. Giriş

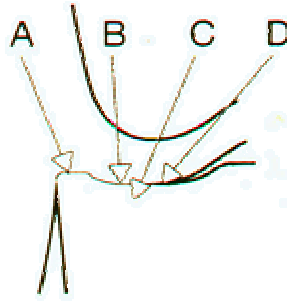
İşleme esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder. İlk yıllarda takım ömrü parametresi takımın artık kesemeyecek duruma gelmesine göre belirlenmiştir. Bugün yüzey kalitesi, Hassasiyet, aşınma tipi, talaş oluşumu takım ömrünü belirleyen parametrelerdir. Bu parametrelerden hangilerinin takım ömrünü etkileyeceği işlemin tipine (kaba veya ince işlem) ve işlemdeki elle kontrol oranına bağlıdır.

İnce talaş kaldırma işleminde kullanılan bir kesici ucun kesici kenarı belirli bir yüzey kalitesini sağlayamadığı anda aşınmış olarak nitelendirilir. Aşınma uç kısmının etrafındaki küçük bir alanda oluşmuştur, ucun değiştirilmesi için bu kadar küçük bir aşınma yeterlidir. Ancak kaba talaş kaldırma işleminde aşınma kesici kenarın daha uzun bir kısmında oluşur ve işlemde sağlanması gereken herhangi bir yüzey kalitesi veya hassasiyet söz konusu olmadığından daha fazla aşınmaya müsaade edilir. Bu işlemlerde takım ömrünü kesici kenarın talaşı kontrol etme kabiliyetini kaybetmesi veya kenarın ani kırılma riskinin ortaya çıkması halinde tamamlamaktadır.

Talaş aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın ne zaman, ne miktarda oluştuğunun ve ne tip bir aşınma olduğunun bilinmesi halinde fazla olumsuz etkiside yoktur. Bir kesici kenarın çok küçük bir zaman aralığında, büyük miktarlarda talaş kaldırması son derece olumludur, ancak takımın ömrünü gereğinden önce tamamlaması veya kırılması bir olumsuzluktur. Modern kesici takım malzemelerinin doğru kullanımları halinde talaş kaldırma işlemi sadece çok daha verimli ve ekonomik olmakla kalmayacak, çok daha güvenilir ve sürekli bir işlem halini alacaktır.

7.2. Kesici Takımlarda Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma olayı ise takım ve iş parçası malzemesi ile işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Şekil 7.1' de (A) mekanik, (B) ısı, (C) kimyasal, (D) abrazyon yükleri temsil etmektedir.



Şekil 7.1: Tipik aşınma bölgeleri

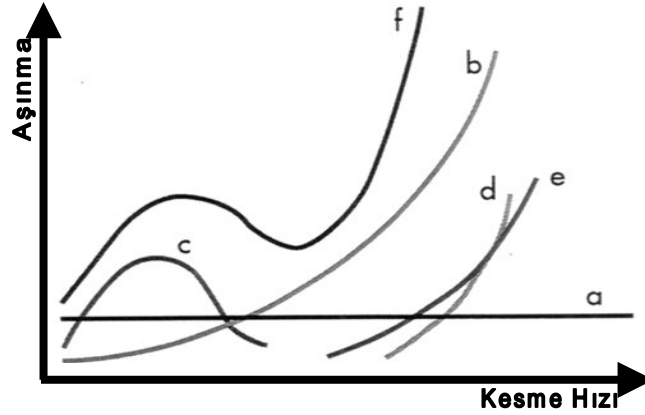
Mekanik yükün statik bileşeninin yanı sıra talaş oluşumundan, değişken talaş derinliklerinden, darbeli ve frezeleme işlemindeki gibi aralıklı kesme işlemlerinden kaynaklanan çeşitli dinamik bileşenleri de söz konusudur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici ucun talaş ve serbest yüzeylerinde büyük miktarda ısı oluşumu söz konusudur. Takım malzemesi için ısı yükünün ve frezeleme işlemi gibi bazı işlemlerde, kesici kenarın iş parçasından çıkması ve iş parçasına tekrar girmesi esnasında dinamik bileşenin de göz önüne alınması gerekir.

Talaş kaldırma işlemi sürekli olarak temiz bir metal yüzeyinin oluştuğu ve bu yüzeyin takım malzemesi boyunca çok yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kaldığı işlemdir. Oluşan bu yüzey metallerin difüzyonu ve kimyasal reaksiyonlar için son derece çekici bir ortam teşkil eder.

Talaş kaldırma işlemi sırasında birçok iş parçası malzemesi içerisinde sertlikleri bazen takım malzemesinin sertliğine yaklaşan, son derece sert

parçacıklar bulunur. Bu parçacıklar takım üzerinde aşındırıcı bir etkide bulunurlar. Bu kalıntıların ve cürüflü bir yüzeyin söz konusu olmadığı durumlarda bile talaş kaldırma işlemi esnasında, kesici kenar üzerinden geçen malzeme nedeniyle, değişen miktarlarda abraziv bir aşınma söz konusudur.

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine dolayısıyla kesici takımın aşınmasına etkide bulunurlar. Bu aşınma mekanizmalarının kesme hızı arttıkça takım aşınmasını nasıl etkilediği Şekil 7.2' de ki grafikte sembolize edilmiştir. Bu grafikte a; kesme kenarı deformasyonu, b; Abraziv aşınma, c; yığılma kenar oluşumunu, d; difüzyon aşınmasını, e; oksidasyon aşınmasını, f; toplam aşınmayı göstermektedir.

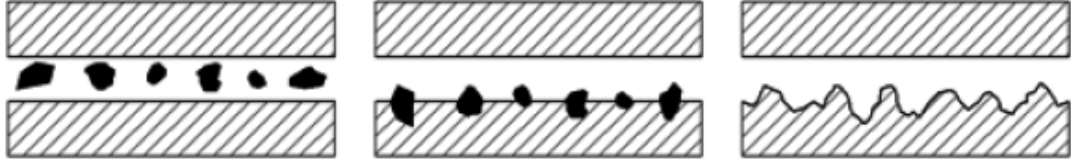


Şekil 7.2. Kesici takımda meydana gelen aşınma prosesleri (ISCAR 2000)

7.2.1. Abraziv Aşınma

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Genellikle iş malzemesine ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur (Şekil 7.3). Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar. Kesici kenarın abraziv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım

malzemesi önemli ölçüde abraziv aşınmaya dayanacaktır ancak bu malzemenin diğer tip yüklere de dayanabilmesi için gereken önlem alınmalıdır.

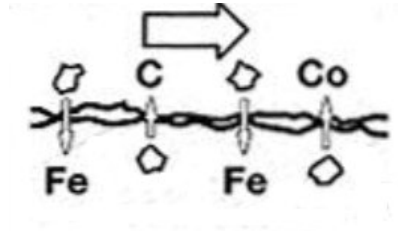


Şekil 7.3. Abraziv aşınma

7.2.2. Difüzyon Aşınması

Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur (Şekil 7.4). Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişkiler aşınma miktarını belirler. Bazı takım malzemeleri birçok iş parçası malzemesiyle etkileşime girmez, bazılarının ise bazı iş parçaları ile afinitesi yüksektir.

Örneğin tungsten karbür ile çelik arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu ise difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde bir krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük kesme hızlarına ulaşır.



Şekil 7.4. Difüzyon aşınması (Çakır 1999)

Difüzyon aşınmasının yüksek kesme hızlarında artması söz konusudur. Bu tip aşınma tüm takım malzemeleri için söz konusu değildir ve bu tip aşınmayı önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Örneğin çeliklerin işlenmesinde sinterlenmiş karbür kalitesini iyileştirmek amacıyla ilave bir gama fazı koruyucu kalkan görevi görecektir. Mesela Al_2O_3 hiçbir şekilde iş parçası ile reaksiyona girmeyen malzemedir. Bu nedenle de yüksek difüzyon aşınması direncine sahiptir.

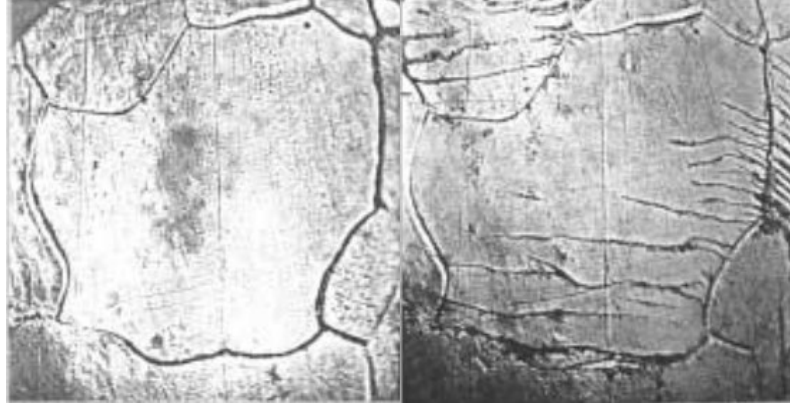
7.2.3. Oksidasyon Aşınması

Yüksek sıcaklık ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Alüminyum oksit gibi bazı oksitler ise son derece dayanıklı ve serttir. Bu bazı takım malzemeleri için kesici takımın aşınması söz konusudur. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) havada kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur. Oksidasyon aşınması günümüzde talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir.

7.2.4. Yorulma Aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar (Şekil 7.5). Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer takım malzemelerine göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu

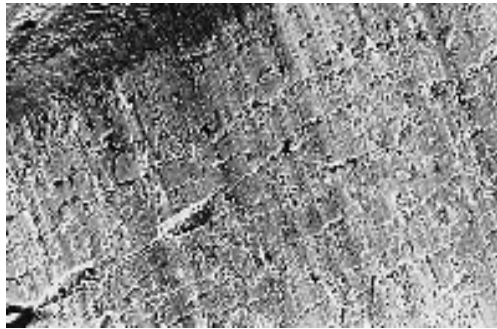
durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.



Şekil 7.5. Malzemedeki yorulma aşınması

7.2.5. Adeziv Aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük ilerleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar (Şekil 7.6). Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığılma kenar oluşumuna neden olur. Yığılma kenar oluşumu talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar



Şekil 7.6. Adeziv aşınma

üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri işlemdir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Bazı kesici takım malzemeleri ve sünek çeliklerde yığma kenar oluşumu diğerlerine göre çok daha fazladır. Belirli bir sıcaklık aralığında takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ve kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adeziv aşınmayı oluşturan nedenlerdendir. Belirli bir malzemenin işlenmesi esnasında bu aşınma türü talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olur.

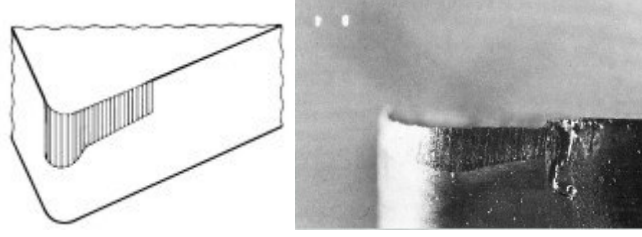
Bu temel aşınma mekanizmaları genellikle iş parçası malzemesi ve kesici kenarın kesmeye katılan kısmı üzerinde etkide bulunurlar. Takım-iş parçası malzeme çiftine göre takım üzerinde oluşan aşınma tipi değişir. Bu aşınma mekanizmalarının tam anlamıyla anlaşılması takım aşınma tiplerinin analizini ve işlemler için doğru takım seçimini önemli ölçüde kolaylaştıracaktır.

7.3. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Belli başlı aşınma tipleri; serbest yüzey aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu, ısıl çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, kesici kenardan parçacık kopmaları, kesici ucun kırılması ve yığma kenar oluşumu sayılabilir.

7.3.1. Serbest Yüzey Aşınması

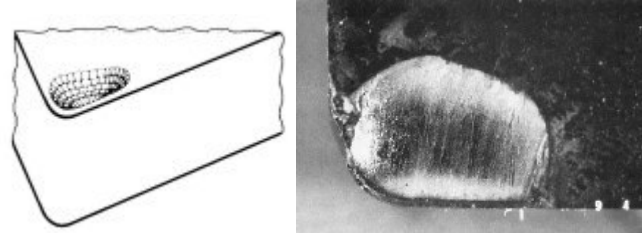
Kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir (Şekil 7.7). Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasında belirli bir değer üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar.



Şekil 7.7. Serbest Yüzey Aşınması

7.3.2. Krater Aşınması

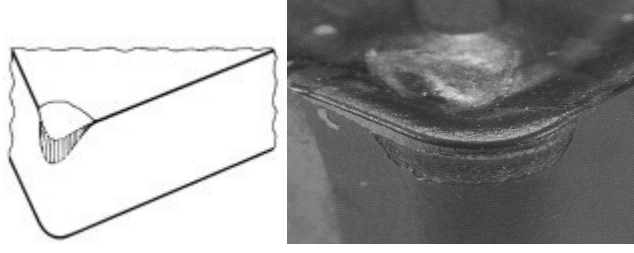
Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar (Şekil 7.8). Krater aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.



Şekil 7.8. Krater Aşınması

7.3.3. Plastik Deformasyon

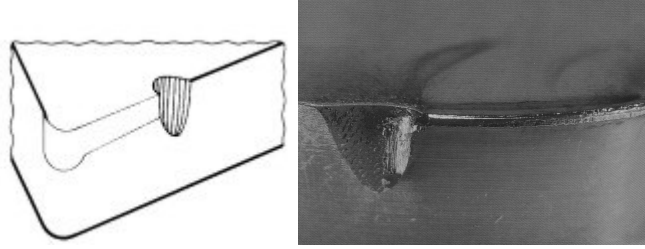
Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Kesici kenarın bu şekilde (Şekil 7.9) deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır.



Şekil 7.9. Plastik Deformasyon (Sandvik 1994)

7.3.4. Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu

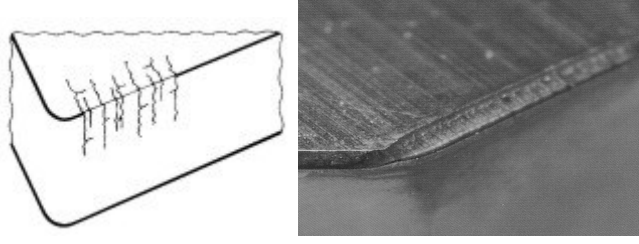
Bu aşınma tipik bir adezyon aşınmasıdır. Çentik, kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur (Şekil 7.10). Çentik aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar.



Şekil 7.10. Çentik Oluşumu (Sandvik 1994)

7.3.5. Isıl Çatlaklar

Bu aşınma tipi genellikle ısı sirkülasyonu nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir (Şekil 7.11) ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılmaz hale gelmesi söz konusudur. Kesme esnasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumuna etkide bulunur.



Şekil 7.11. Isıl Çatlaklar (Sandvik 1994)

7.3.6. Mekanik Yorulma Çatlakları

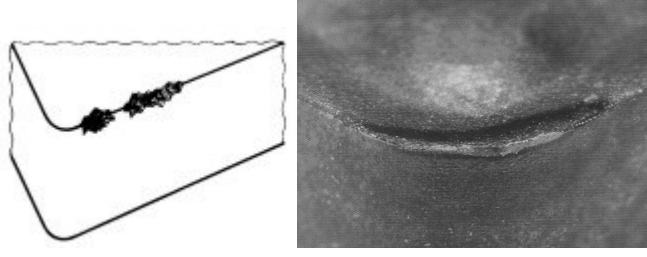
Kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlağa neden olur (Şekil 7.12). Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma gözlenir.



Şekil 7.12. Mekanik Yorulma Çatlakları (Sandvik 1994)

7.3.7. Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme)

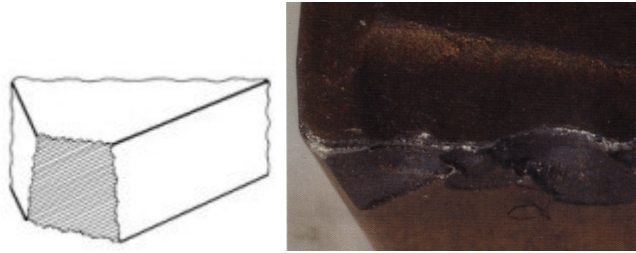
Kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar (Şekil 7.13). Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir. Kenar üzerindeki dikkatli bir inceleme aşınmanın serbest yüzey aşınması mı yoksa kenardan parçacık kopması aşınması mı olduğunu belirleyecektir.



Şekil 7.13. Dökülme (Sandvik 1994)

7.3.8. Kesici Kenarın Kırılması

Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması bir çok diğer aşınma tipi içinde yolun sonu demektir. Geometrinin değişimi, kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur. Yüksek kesme hızlarında ve diğer talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığı anda kırılmanın oluşumu kaçınılmazdır (Şekil 7.14).

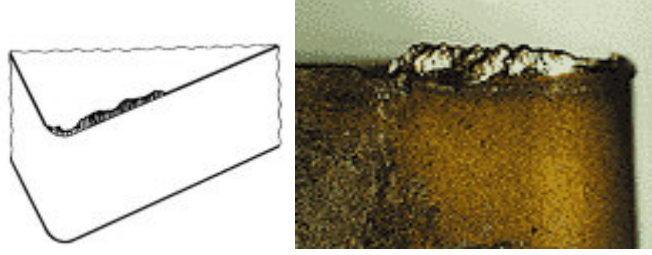


Şekil 7.14. Kırılma (Sandvik 1994)

7.3.9. Yığılma Kenar

Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemedan dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığılma kenar istenmeyen durumdur

(Şekil 7.15). Yiğma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki afinite de etkide bulunur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Yiğma kenar oluşumuna sebebiyet veren sıcaklık ve kesme hızları bilindiğinden bu tip aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir.



Şekil 7.15. Yiğma Kenar Oluşumu

Birçok modern talaş kaldırma işleminde kesme hızları yiğma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yiğma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yiğma kenar oluşumuna izin verildiği takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşum devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir.

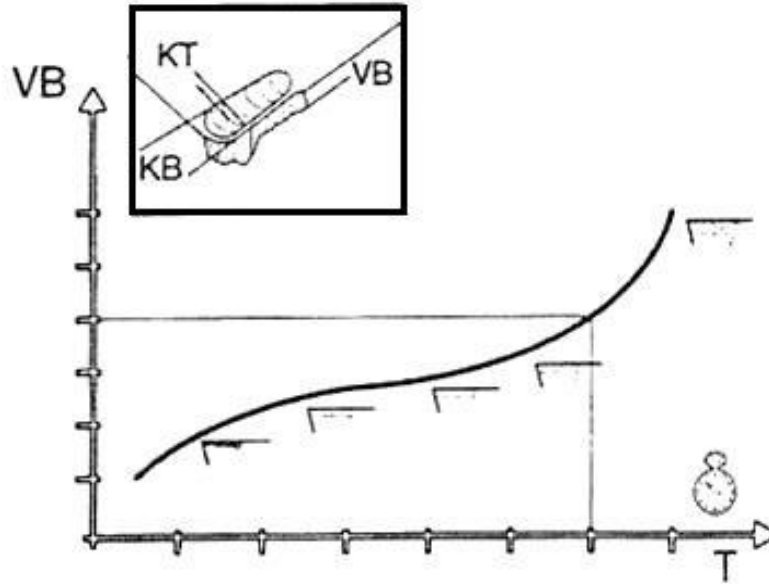
Yukarda ana aşınma tiplerinden bahsedilmiştir. Bu aşınma tiplerinden bazıları aşınma olmayıp kesici ucun aniden kırıldığı durumlardır ve bu durumların önüne geçilmesi şarttır. Daha çok serbest yüzeyde görülen düzenli bir aşınma kesici kenarın ne zaman değiştirileceğini belirlemesi sayesinde optimum takım ömrü sağlayacaktır.

7.4. Aşınmanın Oluşumu

Takımların performansına etki eden en önemli üç malzeme karakteristiği; kırılma direnci, plastik deformasyon direnci ve aşınma direncidir. Takımlarda kullanılan kaplama ana malzemesinin mekanik özellikleri ve kompozisyonu takım malzemesinin kırılma direncini ve deformasyon direncini belirler. Kaplamalar, aşınma direncini artırır ve kesici kenardaki sıcak ve

kesme kuvvetlerindeki artışları azaltabilirler. Böylece dolaylı olarak takım deformasyon ve kırılma davranışlarına etki ederler. Talaş kaldırma sırasında sert kaplama yavaş yavaş yok olmaya başladıkça ve ana malzeme ortaya çıktıkça takım ucundaki sıcaklıklarda ve kesme kuvvetlerinde hızlı artışlar görülmektedir.

Talaş kaldırma işleminin başladığı andan itibaren kesme hızının maksimum olduğu noktada aşınma başlamaktadır. Gerçekleştirilen deneylerde tüm takımlarda aşınma serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Aşınmalarda ilk andaki görülen hızlı artıştan sonra aşınma hızı yavaşlamakta ve doğrusal olarak artışına devam etmektedir. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hız kazanmakta ve kesme işlemine devam edildiği takdirde takım ömrü sona ermektedir. Aşınmanın doğrusal eğimi ne kadar az olursa, takım ömrü o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle kesici takımların sertliği arttıkça aşınma doğrusunun eğimi azalmaktadır. Şekil 7.16' de serbest yüzey aşınmasının takım ömrü süresince gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 7.16. VB' nin takım ömrü süresince gelişimi (Çakır 1999)

Aşınma - takım ömrü kriterlerine bağlı olarak serbest yüzey aşınması (VB) olarak ortalama aşınma miktarı alınmıştır. Kesici takımlarda takım ömrünün sona erdiğine ilişkin belirtiler:

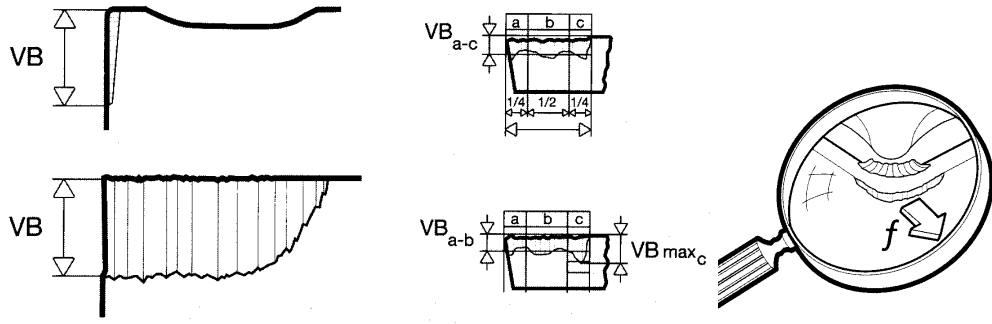
- Kesici uçta oluşan aşınmalar (aşınma miktarı, $VB_{max}=0,3$ mm) veya kırılmalar.
- Kesme kuvvetlerinde artışlar.
- Düzensiz talaş.
- Tezgah titreşimleri.

7.5. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması

Serbest yüzey aşınması kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir ve abrazyon aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması en yaygın ve beklenen aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar. Şekil 8.16' de serbest yüzey aşınması görülmektedir.

Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi olarak bilinen (VB_{maxC}) bölgeler üniform bir görüntüye sahip değildir. Araştırmacılar genellikle dayanma takım ömrünün tayini için serbest yüzey aşınmasında belirli bir genişliği kabul ederler. Ancak üniform bir yapıya sahip olmayan bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi gerektiği konusunda görüş farklılıklarına sahiptirler.

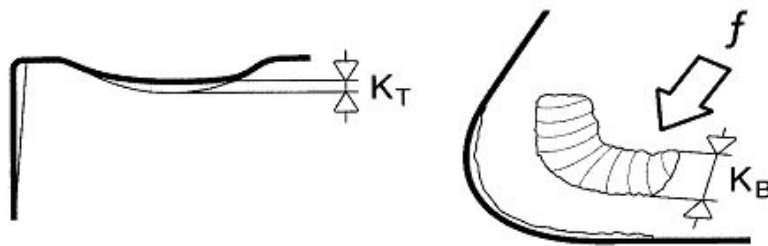
Takım ömrünün sonunun tespiti için serbest yüzey üzerindeki aşınma şerit genişliği değeri araştırmacıya bağlı olarak, VB: 0,3 mm, VB_{maxC} : 0.6 mm olarak kabul edilir (ISO 3685).



Şekil 7.17. Serbest yüzey aşınması (Çakır 1999)

Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Şekil 7.18' de krater aşınması görülmektedir. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.

Bazı durumlarda takımında herhangi bir aşınma olmayıp kesici uç aniden kırılabilir. Bu gibi durumların önüne geçilmesi şarttır. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma, takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.



Şekil 7.18. Krater aşınması (Çakır 1999)

Kesici takımlar, farklı şekillerde ve bölgelerde aşınarak veya kesici ucun kırılıp bozulması nedeniyle atıl duruma gelerek kullanım ömürlerini doldururlar. Bu aşınma çeşitlerinden serbest yüzey ve krater aşınması takım ömrüne etki eden en önemli parametreler olup kesici takım aşınmasının en fazla İncelenen

alanım oluştururlar. Aşınma kriteri olarak genellikle serbest yzeye aşınma yksekliği (VB) veya krater aşınma (K_T) yksekliği esas alınır.

Aşınmanın olęülmesi ile ilgili TS 10329' a göre serbest yzeye aşınma, aşınan bölgenin yksekliği VB ve eni SV; talaş yzeyeindeki krater ise genişliği K_B ; derinliği K_T ; merkezden uca kadar olan uzaklık KM ve krater kenarından uca kadar olan uzaklık KL değeri ile olęülür. Uygulamalarda bu değerlerden serbest yzeye aşınması için VB, krater aşınması için K_T ve bazı durumlarda K_B değeri kullanılmaktadır. Serbest ve talaş yzeyeindeki aşınma yaklaşık olarak aynı zamanda başlar. Ancak başlangıçta daha hızlı olan serbest yzeye aşınmasında (VB) belirli bir zamandan sonra yavaşlama görölürken, krater sabit bir hızda devam eder. Ancak belli bir zaman sonra serbest yzeye aşınması yeniden hızlanır(Şekil 7.16).

Kırılan veya aşınan bir takımın değiştirilme süresi toplam üretim zamanının % 6,8' ini oluşturmaktadır. Takım aşınmasının on-line olarak izlenmemesi durumunda üretilen iş parçalarındaki yzeye kalitesi ve ölçü toleransında karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle üretim miktarında ve zamanında kayıplar artmaktadır. Üretim kalitesi üzerinde en etkili parametre takım ömrüdür (Sağlam ve Ünüvar 1999).

Talaş kaldırma işleminde kesici takım, ısı ve mekanik yklenmeler altında aşınır ve kesme özelliğini kaybeder bunun belirtileri;

- Kesici ucun aşın yük ile kopması,
- Kesici ucun yüksek sıcaklıklarda Şeklini kaybetmesi veya erimesidir.

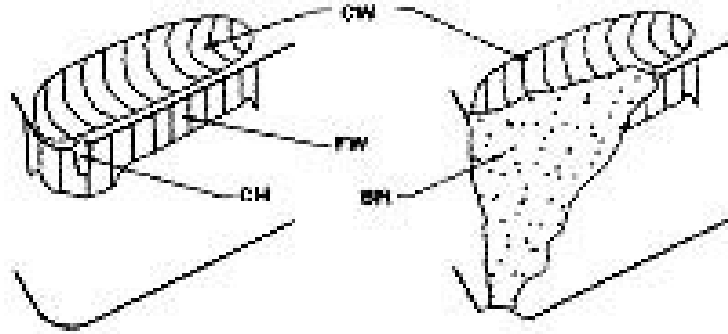
Kesici ucun görev yapamamasının nedenleri ise:

- Kullanılan kesiciye göre çok yüksek kesme hızları,
- Uygun olmayan kesici uç geometrisi,
- Tezgah rijitliğinin yetersizliğidir.

7.6. Kesici Takımlarda Aşınma ve Kırılma Öncesi Davranışlar

Kesici takımlarda aşınma belirli bir değere ulaştığında sürtünmeler artmakta yüzey kalitesinde olumsuzluklar gözlemlenmekte kesme kuvvetlerinde artışlar meydana gelmekte ve ölçü hassasiyetinde değişimler olmaktadır. Kesici takımlar aşınma kriteri olarak belirtilen değerlere ulaştığında ömürlerini tamamlamaktadırlar. Ancak takım ömrünün tamamlanması ile takımın kırılması arasında geçen sürede kırılma öncesi davranışlarının incelenmesi sonucu elde edilecek veriler kesici takımların performanslarının tam olarak belirlenmesine ilişkin önemli bilgiler verecektir. Aşınma kriteri değerine ulaşan kesicilerde, talaş kaldırma işlemine devam edildiğinde kesme kuvvetlerinde ve aşınma miktarındaki artışların analizi bu nedenle son derece önemlidir.

Kesici takımlarda serbest yüzey ve krater aşınmalarındaki artışlar kesici ucun zayıfladığının ve kırılacağıının en belirgin göstergelerinden biridir. Şekil 7.19' da takımda oluşan aşınma ve kırılmalar görülmektedir. Yüzey kalitesinin bozulması aşınma miktarı artışının göstergesidir. Aşınmalar sonucu takım boyutlarında radyal ve aksel yönde azalmalar meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak iş parçası çapında artışlar olmaktadır.



Şekil 7.19. Takımda oluşan aşınma ve kırılmalar (Jeong-Du ve In-Hyu 1995)

NOT : FW = serbest yüzey aşınması, CW = krater aşınması, CH = talaş yapışması, BR = kırılma

Takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artışlar görülmektedir. Ancak bu artışlar bir çok faktörden kaynaklanabileceği için

kuvvetlerdeki artışlar ile aşınma miktarı arasında bir ilişki kurmak talaş kaldırma işleminin başlangıcında son derece güçtür. Kesme kuvvetlerinin artmasında etkili parametrelerden birisi de titreşimdir. Doğru analizlerin yapılabilmesi için titreşime neden olabilecek bağlama hataları önlenmelidir. Isı artışları aşınmayı hızlandıran bir unsurdur (Kinnander 1992).

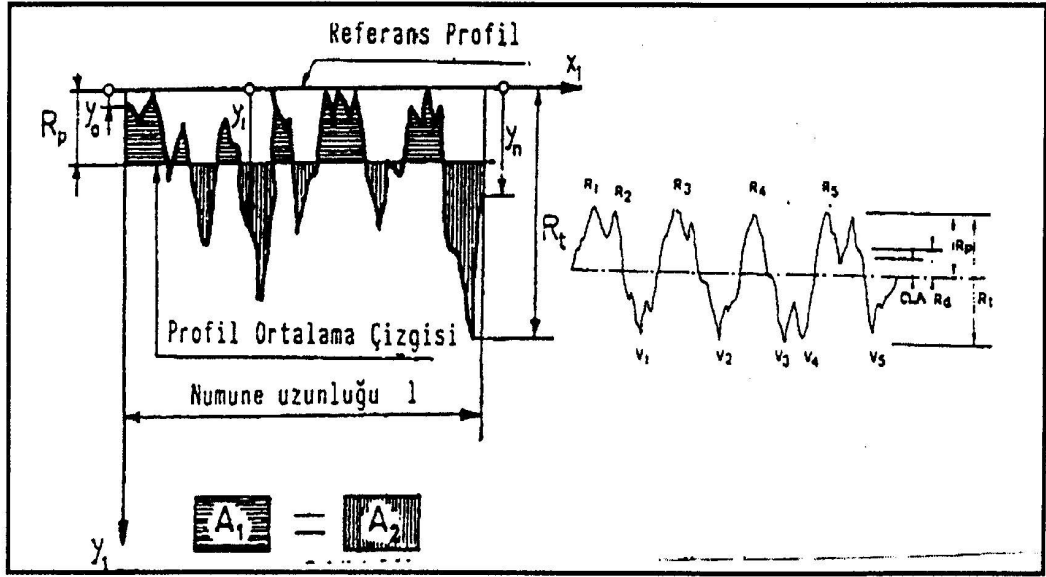
7.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Takım aşınması, aşınma gelişimini sürdürürken, aşınma bölgesinin bir büyüteç (mikroskop) altında incelenmesiyle belirlenir ve bu inceleme aşınma kriterinin belirli bir değeri aşmasına dek sürdürülür. Serbest yüzey aşınması kesici kenar üzerinden ölçülür (Şekil 7.17). Aşınma üç bölge üzerine üniform olarak yayılmışsa, serbest yüzey aşınması olarak ortalama bir değer alınır (VB_{ac}). Ancak herhangi bir bölgede aşırı bir aşınma söz konusu ise aşınma değeri olarak VB_{maxC} kullanılır.

8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işlem kalitesi denilmektedir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın gerçek boyutları arasında müsaade edilen sapmalardır. Bu sapmalar boyut toleransları ile ifade edilirler. Boyut toleransları imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilir. Geometrik kalite, müsaade edilen şekil ve konum sapmalarını kapsamaktadır. Bunlar, ideal silindirik şekle göre sapmalar, ideal yüzeye göre sapmalar ve aksenel sapmalar olmak üzere üç gruba ayrılır.

Talaş kaldırma işlemi ile işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder (Şekil 9.1). Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t) referans profile göre en derin pürüzün değeri, (R_p) referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe, (R_a) ise ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Pratikte yüzey kalitesi genellikle (R_p) veya (R_a)'nın değerleri ile ifade edilir.



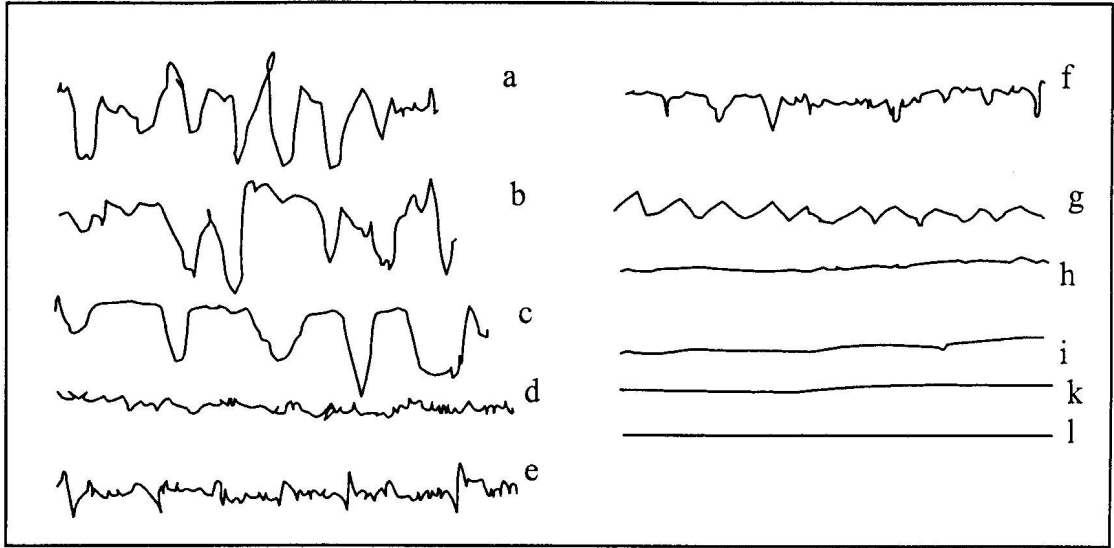
Şekil 8.1 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi (AKKURT 1998)

8.1. Yüzeylerde Şekil Sapmaları

TS 5882' de teknik yüzeylerdeki şekil sapmalarını sınıflandırılması için altı kategori önerilmektedir. Bunlardan şekil sapması malzemenin kristal ve kafes yapısı ile ilgilidir. Şekil sapmaları genellikle iş parçasının işlendiği takım tezgahının kızaklarındaki düzgünsüzlükten ve iş parçasının hatalı bağlanması ile kesici takımdaki form hatasından ve takım tezgahındaki titreşimlerden kaynaklanır. Yüzey pürüzlülüğü ise talaş kaldırılan takımın geometrisine ve ilerleme miktarına bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü kavramı içerisinde değerlendirilebilecek şekil bozukluğu talaşın oluşum biçimi ile ilgilidir. Talaşın sürekli veya sürekli teşekkülüne göre farklı yüzey oluşacaktır. Talaş kaldırmanın tornalama, frezeleme, matkapla delme, broşlama, raybalama, taşlama veya honlama ile yapılmasında farklı yüzey şekilleri elde edilir. Şekil 8.2' de çeşitli talaş kaldırma yöntemlerinde elde edilen yüzey profilleri gösterilmiştir (Schlesinger 1951, Yokogawa 1974, Flores 1982) .

8.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü araştırılacak yüzeyin özelliği bilinen bir yüzeye karşılaştırılmasıyla, izleyici problemlerle veya optik cihazlarla ölçüm yapılması ile belirlenir.



Şekil 8.2. Çeşitli işleme yöntemlerinde yüzey profilleri: a) Tornalama; b) Matkapla delme; c) Frezeleme; d) Taşlama; e) Raybalama; f) Broşlama; g) Elmas tornalama; h) Honlama; i) Lepleme; k) Hassas taşlama; l) Polisaj (AKKURT 1998)

Yüzey karşılaştırılması ile yüzey kontrolü yapıldığında sayısal bir sonuç elde edilmez. Bu işlem için tornalama, frezeleme, taşlama veya lepleme gibi yöntemlerle bilinen çeşitli pürüzlülük değerlerinde hazırlanmış standart numune karşılaştırma parçaları kullanılır. Bu durumda yüzey kontrolü çıplak gözle, büyüteçle veya mikroskopla yapılabilir. Ayrıca yüzeyin üzerine düzgün kenarlı bir cetvel konularak arada oluşan küçük ışık boşluklarından düzgün aydınlatılmış bir yüzeye bakılarak bir mikrona kadar olan pürüzlülüğü algılamak mümkündür. (Gerling 1969).

8.3. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

İşleme kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenir.

- Takım tezgahına ait sapmalar; tezgahın kinematik mekanizmasındaki mevcut olan hataların etkisinden, ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmamasından, tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki mevcut olan sapmalar ve boşlukların etkisinden, gövde ve ana milin yeterince rijit olmamasından dolayı oluşur.
- Bağlama sistemine ait hatalar; ana elemanların imalat hatalarından, tertibatın yeteri kadar rijit olmamasından, ana elemanlarda oluşan aşınmalardan kaynaklanır.
- Takım sistemine ait hatalar; takımın konum bakımından hatalı bir şekilde tutturulmasından, kesme kuvvetlerinin etkisi altında şekil değiştirilmelerin oluşması ve takımın aşınmasından kaynaklanır.
- Ortamın etkisi altında meydana gelen hatalar; sıcaklığın oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve diğer tezgahlardan gelen titreşimlerden kaynaklanır (AKKURT 1998).

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler;

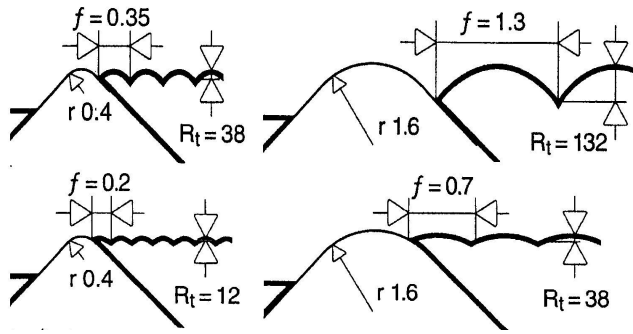
- İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği
- Kesici takım geometrisi
- Diğer faktörler
 1. Kesici uç üzerine talaşın yapışması
 2. Takım ve iş parçasının elastik deformasyonu
 3. Takım ve iş parçası arasındaki titreşim
 4. Kesme kenarının pürüzlülüğü, birinci ve ikinci kesici kenarda

oluşan izler ve aşınma

5. iş parçasının talaş kaldırılan yüzeyinde 100 pm' luk derinlikteki fiziksel ve kimyasal özellikler.
6. Talaşın plastik akışı.

8.3.1. İlerleme ve Köşe Radyüsünün Etkisi

Teorik maksimum yüzey pürüzlülüğü değeri (R_t) daha yüksek kesme hızları ve daha pozitif bir kesme geometrisi kullanılarak arttırılabilir. Şekil 8.3' de teorik yüzey pürüzlülüğü (R_t) değerinin ilerleme (f) ve köşe radyüsüne bağlı (r_ϵ) (veya kesici uç çapına) değişimini göstermektedir (Eriksen 1999).



Şekil 8.3. İlerleme ve köşe radyüsünün yüzey kalitesi üzerindeki etkileri

[Çakır 1999]

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} 1000 \quad [8.1]$$

Şekil 8.10' da ve formül (8.1)' de görüldüğü gibi daha büyük bir köşe radyüsü, aynı yüzey pürüzlülüğü değeri için daha büyük ilerleme değeriyle elde edilebilir. İlerleme ve köşe radyüsüne bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması olarak adlandırılan (R_a) değeri de

$$R_a = \frac{0,321 \cdot f^2}{r_\epsilon} \quad [8.2]$$

Yukarıda belirtildiği gibi kesme hızı, ilerleme hızı ve köşe radyüsü yüzey kalitesinin elde edilmesinde ana faktörleri oluşturmaktadırlar. Kesme hızının artırılmasının talaşın yapışmasına, titreşime ve aşınmaya olan etkisinden dolayı ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Kandemir ve Özdemir 1999).

8.3.2. Kesici Takım Aşınmasının Etkisi

Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gereken parametrelerden biridir. Serbest yüzey aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern tezgahlarda adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir.

Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi durumda üretim devam etmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır.

8.3.3. Kesme Kuvvetlerinin Etkisi

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen dirençleri yenme için gerekli talaş kaldırma kuvveti F_s kesme kuvveti, F_v ilerleme kuvveti ve F_r radyal kuvvet olmak üzere üç bileşene ayrılır. Kesme kuvvetleri gerek takım, gerekse iş parçası üzerinde bir takım şekil değiştirmelere neden olarak takım-iş parçası konumunu değiştirirler ve yüzey kalitesini etkilerler.

Kesme parça-takım-tezgah zinciri esnek bir sistemdir. Dolayısıyla, talaş kaldırma sırasında, kesme kuvvetinin değişken olmasından dolayı titreşimler meydana gelebilir. Bu titreşimler şiddetli oldukları durumda, kötü bir yüzey kalitesine neden olan tırlama olayını oluştururlar.

9. REGRESYON ANALİZİ

9.1. Giriş

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler (estimation) ya da kestirimler (prediction) yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden bir istatistik analiz tekniğidir.

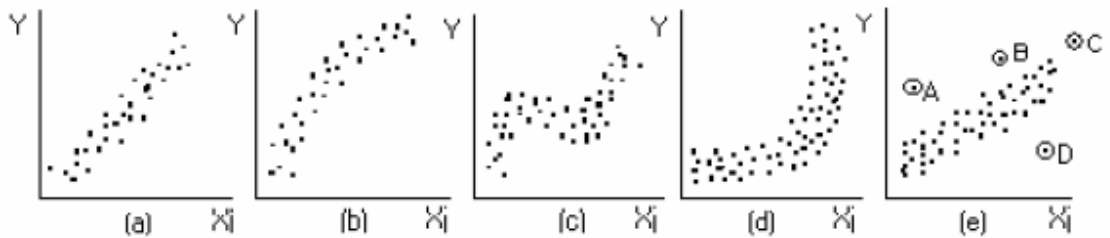
Genelde hassas olarak sıralanan noktalardan geçen bir polinom denklemi elde etmek mümkündür. Bazı durumlarda ise elde çok sayıda nokta olabilir ve bu noktalar geliş güzel bir dağılım gösterebilir. Genelde deneysel ve istatistik ölçümlerinden elde edilen bu noktalardaki geliş güzel dağılım ölçüm hatalarından kaynaklanabilir. Bu tür bir dağılım gösteren noktalardan geçen bir eğri denklemi bulmak mantıklı olmaz. Bu noktalardan bazılarını seçip onlardan geçen bir eğri denklemi bulmak mümkünse de bu noktaların seçimi kişiye bağlı olacağından sonuç objektif olmaz. Bu durumda bütün noktalardan geçen bir denklem bulmak yerine noktaları temsil eden, yani noktalardaki gidişatı ve eğilimi gösterecek şekilde bir denklem vurma yoluna başvurulur ki buna istatistikte regresyon analizi denir.

Verilen noktaları temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde yaygın olarak kullanılan yöntem en küçük kareler yöntemidir. Bu yöntemde verilen noktalardaki ölçüm hatalarının normal dağılım gösterdiği kabul edilir. En küçük kareler yöntemi, oluşacak hataların kareleri toplamını minimum olacak şekilde bir eğri denklemi bulma esasına dayanır. Bu şekilde bulunacak bir denklem en az hatalı ve en muhtemel değeri verecek bir eğri denklemi olacaktır.

9.2. Değişken Seçimi

Regresyon analizi ile uydurulacak modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin seçimi çalışmanın ilk adimidir. Burada dikkat edilecek en önemli hususlar; bağımlı değişkenin (Y) doğru seçilmesi, bağımlı değişken ile bağımsız değişken veya değişkenler (X) arasında doğrusal bir sebep-sonuç ilişkisi bulunması, modele sadece ilgili bağımsız değişkenlerin dahil edilmesidir. Eğer konu ile ilgili çok fazla sayıda bağımsız değişken varsa bunlardan sadece bağımlı değişkendeki varyasyonun açıklanmasına önemli derecede katkısı olanlar uygun değişken seçimi yöntemleri [geriye eleme (backward elimination), ileri seçim (forward selection), stepwise), mallow'un Cp istatistiği v.b.] kullanılarak seçilmelidir (Draper ve Smith,1981;SPSS,1999;Aczel,2000). Çünkü; regresyon modelinin mümkün olan en az bağımsız değişken ile en iyi tahmini yapabilecek şekilde uydurulması esastır.

Regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin modele ne şekilde gireceği ya da değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade edecek olan modelin hangi model olacağı konusunda başlangıçta bir fikir elde etmek için, gözlem noktalarının koordinat eksenindeki dağılımını gösteren serpmeye diyagramı incelenir. Elde edilen grafikte tipik bazı görünümlere göre Y ile X_j arasındaki ilişkinin şekli görsel olarak belirlenebilir. Bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenlere karşı grafikleri oluşturulduğunda Şekil 9.1' de verilen tipik görüntüler elde edilebilir.



Şekil 9.1. Değişkenler arasındaki tipik ilişkiler için serpmeye diyagramından bazı görünümler. (sahinler 1999)

Sekil 9.1' deki (a) grafiği X ile Y arasında $y = a + bX$ şeklinde doğrusal, (b) grafiği $y = a + b \cdot \ln(X)$ şeklinde logaritmik, (c) grafiği $y = a + b_1X + b_2X^2 \dots$ şeklinde polinomial, (d) grafiği ise $y = a \cdot e^{bX}$ şeklinde üstel bir ilişki olduğunu ve uydurulacak modelin bu tip modeller olması gerektiğini ifade eder. Yoksa; örneğin üstel bir fonksiyon ile ifade edilebilecek bir veri grubuna doğrusal bir model uydurulmaya çalışılırsa ilişki istatistiksel olarak önemli olsa dahi daha bastan hata yapılmış demektir. Uydurulan model kullanılarak yapılacak tahminlerdeki isabetin yüksek olması, kullanılan veri grubu hangi modele uyuyorsa, modelin o şekilde seçilmesine bağlıdır. Ancak seçilen model sonraki aşamalarda ek testlerden geçmelidir. Eğer aynı X değerleri için en az iki veya daha fazla y değeri varsa, bu durumda modelde uyum eksikliği (Lack of fit) olup olmadığı kontrol edilmelidir (Draper ve Smith,1981;Ryan,1996;Pedhazur,1997) (Sekil 9.1 e).

9.3. Lineer Regresyon Analizi

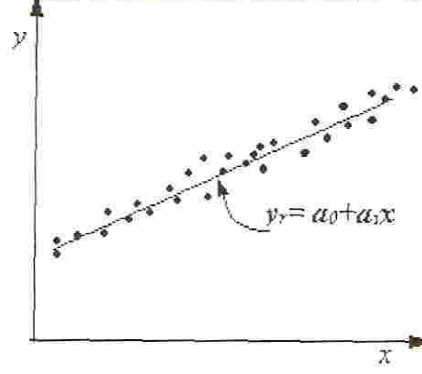
Bağımsız değişken x, bağımlı değişken y olmak üzere $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ değerleri verilmiş olsun. Bu noktalar şekil 9.2' de ki gibi doğrusal bir değişim gösteriyorsa bu noktaları temsil eden;

$$y_r = a_0 + a_1 x \quad [9.1]$$

doğru denklemi bulunabilir. Burada r indisi regresyon anlamında kullanılmıştır. Buradaki a_0 ve a_1 sabitleri o şekilde bulunmalıdır ki en az hatalı denklem bulunmuş olsun. Herhangi bir i noktası için verilen değer ile doru denklemden elde edilen değer arasındaki fark mutlak hata olduğuna göre ;

$$e_i = y_i - y_r = y_i - a_0 - a_1 x \quad [9.2]$$

yazılabilir. En küçük kareler yönteminde, her nokta için hesaplanan bu hatanın kareleri toplamı minimum olacak şekilde a_0 ve a_1 belirlenir. Hataların kareleri toplamı;



Şekil 9.2. Değerlerin bir doğru ile temsili

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x)^2 \quad [9.3]$$

minimum olması için her değişkene göre türevi sıfır olmalıdır. Yani;

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 0 &\Rightarrow \sum y_i - \sum a_0 - \sum a_1 x_i = 0 \\ &\Rightarrow a_0 n + a_1 \sum x_i = \sum y_i \end{aligned} \quad [9.4]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 0 &\Rightarrow \sum x_i y_i - \sum a_0 x_i - \sum a_1 x_i^2 = 0 \\ &\Rightarrow a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \end{aligned} \quad [9.5]$$

şeklinde iki denklem elde edilir. Bu denklemlerden aranan sabitler;

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad [9.6]$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad [9.7]$$

elde edilir. Burada ortalama x ve y değerleri;

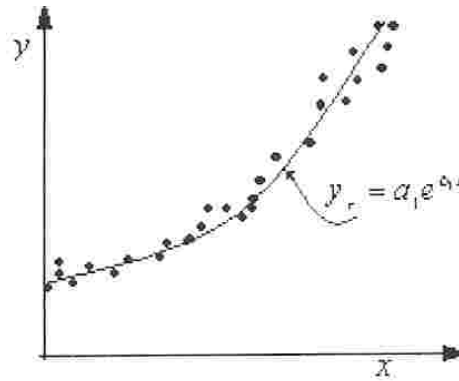
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{ve} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad [9.8]$$

yazılabilir.

9.4. Nonlinear Regresyon Analizi ve Lineerleştirme

Verilen değerler doğrusal bir dağılım göstermiyorsa, noktaları temsil edecek bir eğri denklemini bulunmaya çalışılır. Bu amaçla kullanılacak nonlinear fonksiyonlar, üstel fonksiyon, kuvvet fonksiyonu ve polinomlardır. Bunlardan ilk ikisi basitçe lineer regresyon analizine indirgenebilir.

9.4.1. Üstel Fonksiyon ve Lineerleştirme



Şekil 9.3. Üstel fonksiyon

Verilen değerlerin şekil 9.3' de ki gibi üstel fonksiyon formunda olması halinde

$$y_r = a_1 e^{b_1 x} \quad [9.9]$$

formunda üstel bir regresyon eğrisi bulunabilir. Bu üstel fonksiyonun her iki tarafının da doğal logaritması alınarak lineer hale dönüştürülebilir [9.10].

$$y_r = a_1 e^{b_1 x} \Rightarrow \ln y_r = \ln a_1 + b_1 x \quad [9.10]$$

Bu denklemde $\ln a_1$ ve b_1 katsayılarının hesaplanması tamamen lineer regresyon da olduğu gibi hesaplanır. İstenirse ters dönüşümle üstel fonksiyona ait a_1 katsayısı da hesaplanabilir.

9.4.2. Kuvvet Fonksiyonu ve Lineerleştirme

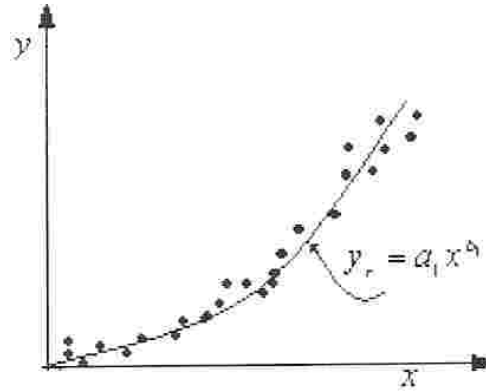
Verilen değerlerin şekil 9.4' de ki gibi kuvvet fonksiyonu formunda bir dağılım gösteriyorsa;

$$y_r = a_1 x^{b_1} \quad [9.11]$$

kullanılması mümkündür. Bu fonksiyonun da her iki tarafının logaritmasının alınması ile lineerleştirilmesi mümkündür [9.12].

$$y_r = a_1 x^{b_1} \Rightarrow \ln y_r = \ln a_1 + b_1 \ln x \quad [9.12]$$

Bu denklemde $\ln a_1$ ve b_1 katsayıları aynı lineer fonksiyonda olduğu gibi hesaplanabilir. Gerekirse kuvvet fonksiyonu da bu katsayılardan ters dönüşümle elde edilebilir.



Şekil 9.4. Kuvvet fonksiyonu

9.4.3. Çok değişkenli Regresyon Analizi

Buraya kadar tek bir bağımsız değişkenden oluşan problemlerin analizini inceledik. Ancak incelenen problemde bağımsız değişken sayısı birden fazla olabilir. Bu durumda çok değişkenli regresyon analizi yapılmalıdır. Verilen data x_1, x_2, \dots, x_m gibi m adet değişkene bağlı ise, bu veriyi temsil etmek üzere;

$$y_r = a_0 + a_1 x + \dots + a_m x_m \quad [9.11]$$

şeklinde lineer bir fonksiyon kurulur.. En küçük kareler yöntemine göre hataların kareleri toplamı;

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i})^2 \quad [9.12]$$

şeklinde ifade edilir ve bu toplamın minimum olması için denklemin her değişkene göre türevinin sıfır olması gerekir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 0 &\Rightarrow n a_0 + \sum x_{1i} a_1 + \sum x_{2i} a_2 = \sum y_i \\ \frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 0 &\Rightarrow \sum x_{1i} a_0 + \sum x_{1i}^2 a_1 + \sum x_{1i} x_{2i} a_2 = \sum x_{1i} y_i \\ &\vdots \end{aligned} \quad [9.13]$$

toplam m adet değişkenden m+1 adet denklem elde edilir bu denklemler matris formunda aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} & \dots & \sum x_{mi} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i} x_{2i} & \dots & \sum x_{1i} x_{mi} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{2i} x_{1i} & \sum x_{2i}^2 & \dots & \sum x_{2i} x_{mi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_{mi} & \sum x_{mi} x_{1i} & \sum x_{mi} x_{2i} & \dots & \sum x_{mi}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i} y_i \\ \sum x_{2i} y_i \\ \vdots \\ \sum x_{mi} y_i \end{bmatrix} \quad [9.14]$$

Bu matrisin uygun yöntemler ile çözülmesiyle aranan katsayılar a_0, a_1, \dots, a_m kolaylıkla bulunur.

9.5. Regresyonun Uyum Değerlendirmesi

En küçük kareler tekniği uygulanarak uydurulan regresyonun istatistiksel olarak önemli olup olmadığını test etmek amacıyla varyans analizi tekniği, modeldeki katsayıların ayrı ayrı önem kontrolleri için ise t testi kullanılır. Ancak bu yöntemler tek baslarına uydurulan modelin değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en iyi model olduğunu veya verileri gerçekten temsil eden bir model olduğunu göstermezler. Çünkü; model, en iyi model olmasa bile regresyon ve katsayılar önemli olabilirler.

9.5.1. Belirtme Katsayısı (R^2)

Belirtme katsayısı, kullanılan X değişkenlerinin Y'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve $0 < R_2 < 1$ ' dir (Newton ve ark. 1996). Bu katsayı;

$$R_2 = \text{Reg.K.T.} / \text{G.K.T.} = 1 - (\text{H.K.T.} / \text{G.K.T.}) \quad [9.15]$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada; Reg.K.T. : varyans analiz tablosundaki regresyon kareler toplamını, H.K.T. : hata kareler toplamını, G.K.T. : genel kareler toplamını göstermektedir. R_2 'nin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermez. Çünkü, modele konu ile ilgili veya ilgisiz bir değişkenin eklenmesi R_2 'nin değerini artıracaktır. Dolayısıyla da büyük R_2 'si olan modeller her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir (Montgomery ve Peck,1992). Ancak modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür. R_2 'nin karekökü Y ile X değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısını verir .

9.5.2. Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_d^2)

Bu katsayı, belirtme katsayısının (R_2) serbestlik derecesine göre düzeltilmiş şekli olup

$$R_d^2 = 1 - \{[(\text{H.K.T.} / (n-p)) / (\text{G.K.T.} / (n-1))]\} = 1 - [(n-1) / (n-p)](1 - R_2) \quad [9.16]$$

formülü ile hesaplanır. Burada G.K.T. : varyans analiz tablosundaki genel kareler toplamını , H.K.T. : hata kareler toplamını göstermektedir. Yukarıdaki bilgilere ek olarak pratikte, modele giren bağımsız değişkenler ve gözlem sayısının (n) yeterliliği konusunda ön bilgiler verebilir (Levine ve ark.,1997). Eğer R_2 ile R_d^2 degerleri çok farklı değilse basit olarak kullanılan gözlem sayısının yeterli olduğu, aksi durumda ise anlamlı katkıları olmayan değişkenlerin modele dahil edildiği anlamını taşır. Modelin yeterliliği konusunda bilgi vermez.

9.5.3. Kalıntuların (Residual) İncelenmesi

Teorik modeli temsil eden regresyon modeli ile açıklanamayan değişkenliğin bir ölçüsü olan kalıntular, modelin uygunluğu hakkında daha açıklayıcı bilgiler verirler. Basit olarak kalıntı; “gözlenen değer ile uydurulan değer arasındaki fark” olarak tanımlanabilir (Ascombe ve Tukey,1963).

$y=Xb+e$ şeklindeki bir modelde kalıntı;

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (i=1, 2, 3, n) \quad [9.17]$$

eşitliği ile hesaplanır . Burada; e_i = i nci kalıntı değerini, y_i = i nci gözlenen değeri, $\hat{y}_i = i$ nci tahmin değerini göstermektedir (Cox ve Snell,1968; Cook ve Weisberg, 1982; Newton ve ark.,1996).

10. MATERYAL VE YÖNTEM

10.1. Tezgah Özellikleri

Deneylerde kullanılan torna tezgahında güç 5,5 KW, devir sayısı aralığı: 90-2000 dev/dak., ilerleme: 0,03-0,25 mm/dev' dir. Tezgahın ne lokal ne de merkezi bir kesme sıvısı sistemi bulunmamaktadır. Bu sebeple deneyler kuru kesme ile yapılmıştır.

Tezgah konvansiyonel olduğu için kesme hızlarının değişimine engel olunamamıştır. Tezgah hız kademelerinin izin verdiği limitlerde kesme hızları değişen çaplar oranında telafi etmeye çalışılmıştır.

10.2. İş Parçası Özellikleri ve Şekli

İş parçası olarak kullanılan malzeme soğuk iş takım çeliği olan DIN 1.2738 çeliğidir. İyi işlenebilirlik özelliğine sahip olan IMPAX SUPREME, polisaja ve foto-dağlamaya (desen, asit dağlama) çok uygun, geliştirilmiş bir kalitedir. Vakumla, enjeksiyonla, ekstrüzyon ile ve presleme yolu ile şekillendirilen ev eşyaları, taşıt aksesuarları, büro makine ve araçları, ambalaj kutuları, oyuncak v.b. üretimlerde kalıp olarak kullanılır. Bölgesel olarak sertleştirilebilir. İç yapısında bulunan elementler ve diğer özellikleri Tablo 11.1' deki gibidir.

Tablo 10.1. Deney numunesinin iç yapı bileşenleri ve diğer özellikleri

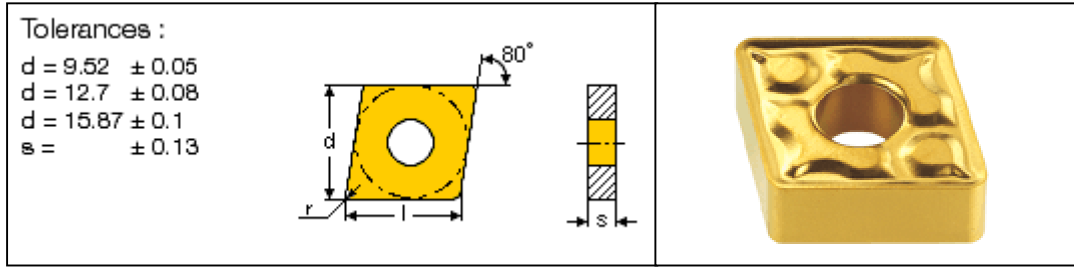
ISO / DIN	AISI	C	Mn	Cr	Mo	V	Si	SERTLİK
1.2738	P20	0,37	1,40	2,00	0,20	-	0.30	52-54 RC

Deneylerde kullanılan iş parçası numuneleri 300 mm uzunluğunda ve 65 mm çapında olup, parçalar ayna - punta arasına bağlanmıştır.

10.3. Kesici Uçlar

Deneylerde ISO CNMG 120408 referans numaralı Iscar marka uçlar kullanılmıştır. Bu uçlar Iscar' ın IC 907 ve IC 9007 kalitesindeki uçlardır. Bu takımların en önemli özelliği tamamen aynı iç yapıya sahip olmalarına karşın en üstteki kaplama tabakalarının farklı olmasıdır.

IC 9007, CVD kaplama olup sırasıyla TiCN, Al₂O₃, TiN kaplama tabakalarına sahiptir (Şekil 10.2). Dökme demirlerin ve çelik malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Yüksek hızlarda ince işlem için uygun bir takımdır. IC9007' nin geometrik özellikleri şekil 10.1' de gösterilmiştir.

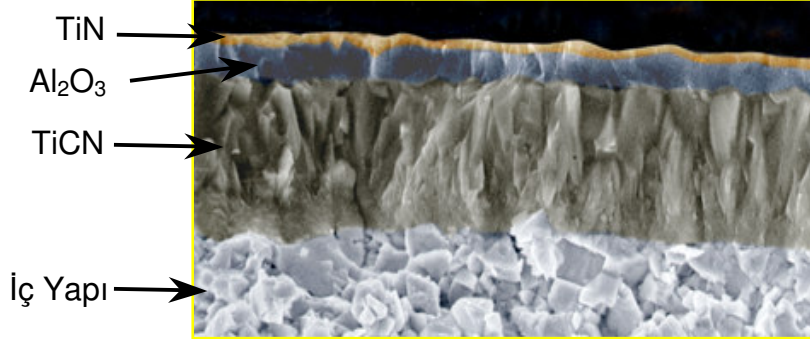


Şekil 10.1 ISCAR IC9007 geometrik özellikleri

Üzerindeki kaplama tabakalarının kazandırdığı özelliklere kısaca değinecek olursak, TiCN en alt tabakadır ve TiC ve TiN kaplamalarının karışımından meydana gelmiştir ve bu iki kaplamanın özelliklerini birlikte ihtiva eder. TiC oldukça sert bir tabakadır ve sürtünme sonucunda meydana gelen aşınmaları geciktirerek ömür üzerinde pozitif etkisi yüksektir. TiN ise yüksek sıcaklıklarda termal dayanımını kaybetmez. Bu pozitif özelliğinin yanında iyi korozyon direnci ile birlikte metal – kesici uç arasında yağlama görevi de tercih edilmesinin altında yatan sebeptir.

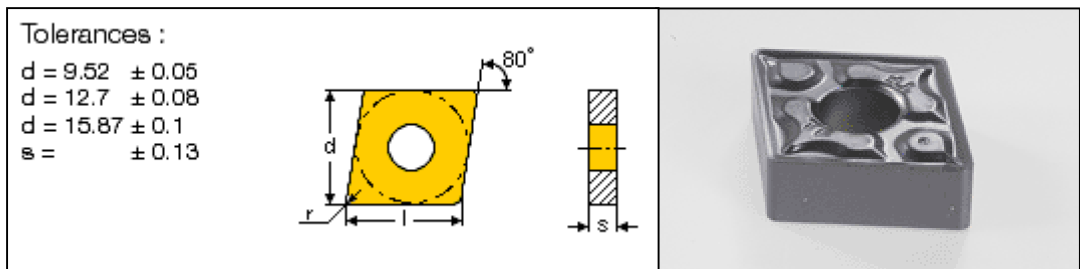
Al₂O₃ , ısı iletkenliğinin düşük olması ve yüksek aşınma direnci sebebiyle uygulanır. Şeffaf renge sahip olması sebebiyle üzerinde meydana gelen aşınma miktarını çıplak gözle görmek zor olduğu için üzerine başka kaplama tabakaları uygulanır. Tok malzemeler üzerine uygulanır. TiCN üzerine kaplanması yeni bir uygulama olarak düşünülebilir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere TiN yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve kimyasal yapısı sayesinde talaşın akışında yağlama görevi yapar.



Şekil 10.2. ISCAR IC9007 iç yapısı ve kaplama tabakaları (ISCAR 2005)

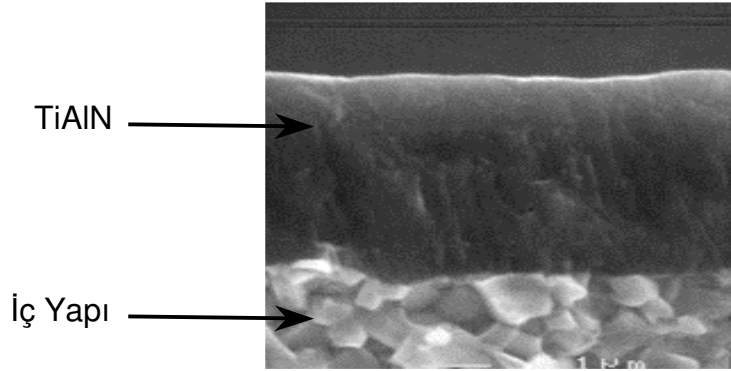
IC 907 ise PVD kaplama olup $3\pm 1\mu\text{m}$ kalınlığında TiAlN kaplama tabakasına sahiptir (Şekil 10.4). Bu takımda PVD katmanları üst kaplama tabakalarında bir sıkışma basıncı sağlayarak alt tabakalara etkiyen stresin azalmasını sağlar. Hızlı kesme işlemlerinde ise kesici kenarda iş parçası ve takım arasında termal ve kimyasal set oluşturan Al_2O_3 oluşur. Oluşan bu Al_2O_3 kaplama tabakasını koruyan bir kalkan görevi görür ve takım ömrü üzerine pozitif etkide bulunur. IC907' nin geometrik özellikleri Şekil 10.3' de gösterilmiştir.



Şekil 10.3. ISCAR IC907 geometrik özellikleri

TiAlN yukarıda bahsedilen kaplamalara nazaran daha performansı yüksek bir kaplamadır. Yüksek aşınma direnci, ısı direnç ve kimyasal kararlılık

gibi bir çok özelliği tek başına içerisinde bulundurur. Oksidasyon dayanımı yüksektir. Krater aşınmasına daha dayanıklıdır. Son teknoloji tezgahlarda performansını maksimum seviyede elde etmek mümkündür. Tek olumsuz özelliği ise renginin siyaha yakın olmasıdır. Üzerinde meydana gelen açınma net olarak görülememektedir.



Şekil 10.4. ISCAR IC907 iç yapısı ve kaplama tabakaları (ISCAR 2005)

Deneyle üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı ve üç farklı talaş derinliği için ayrı ayrı yapılmıştır. Kullanılan kesme parametreleri şöyledir;

- Kesme Hızı ($V - m/dak.$) : ~120 / ~160 / ~200
- İlerleme ($f - mm/dev.$) : 0,12 / 0,18 / 0,22
- Talaş Derinliği ($a_p - mm$) : 1 / 1,5 / 2

Her deneyde bir parametre değiştirilip diğer iki parametre sabit tutulmuştur.

Tablo 11.2. **ISCAR IC907'** de meydana gelen Serbest Yüzey Aşınması V_b (mm)

Ölçüm Zamanı (Saniye)	İlerleme (mm/dev)	V= 120 m/dak			V= 160 m/dak			V= 200 m/dak		
		Talaş Derinliği (mm)			Talaş Derinliği (mm)			Talaş Derinliği (mm)		
		1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
30 sn.	0,12	0,051	0,052	0,054	0,052	0,052	0,053	0,058	0,059	0,060
	0,18	0,053	0,055	0,057	0,060	0,060	0,061	0,061	0,061	0,063
	0,22	0,059	0,059	0,059	0,060	0,061	0,062	0,062	0,063	0,065
	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
120 sn.	0,12	0,055	0,056	0,057	0,060	0,062	0,063	0,063	0,065	0,065
	0,18	0,056	0,057	0,058	0,067	0,067	0,067	0,065	0,068	0,070
	0,22	0,060	0,063	0,066	0,068	0,071	0,071	0,070	0,071	0,071

Tablo 11.3. **ISCAR IC9007 ve IC907** ile işlenen iş parçasında meydana gelen yüzey kalitesi değerleri R_a (μm)

Takım	İlerleme (mm/dev)	V= 120 m/min			V= 160 m/min			V= 200 m/min		
		Talaş Derinliği (mm)			Talaş Derinliği (mm)			Talaş Derinliği (mm)		
		1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
IC9007	0,12	0,869	1,091	1,104	0,816	0,859	0,873	0,766	0,785	0,864
	0,18	1,620	1,628	1,632	1,391	1,420	1,452	1,284	1,371	1,428
	0,22	2,576	2,582	2,629	1,998	2,029	2,086	1,766	1,929	1,973
IC907	0,12	0,824	0,860	0,984	0,802	0,888	0,939	0,692	0,786	0,834
	0,18	1,112	1,270	1,379	1,287	1,546	1,560	1,284	1,324	1,509
	0,22	1,845	1,981	2,232	1,681	1,722	1,901	1,572	1,783	1,883

Her deney sonucunda meydana gelen yüzey kalitesi değerleri ISCAR IC 9007 için ve ISCAR IC 907 için Tablo 11.3 de gösterilmiştir.

11.1. Serbest Yüzey Aşınması Modelinin Oluşturulması

Serbest yüzey aşınması sonuç ve kesme parametreleri giriş olarak kabul edilirse bunlar arasındaki ilişki lineer, ikinci dereceden ve üstel olarak üç değişik denklem ile ifade edilebilir.

11.1.1. Lineer Aşınma Modeli

Bağımlı değişken V_b , kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği gibi bağımsız değişkenlerin lineer bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Bu durumda denklemimiz aşağıdaki gibi oluşacaktır;

$$V_b = k_0 + k_1.V + k_2.f + k_3.a_p \quad [11.1]$$

Bu denklemin katsayılarını elde etmek için deneysel veriler üzerinde en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon analizi yapıldığında iki farklı takım için aşağıdaki denklemler elde edilmiştir.

IC9007 için V_b değerleri ;

$$V_{b(30. sn)} = 0,055380 + 0,000063.V + 0,025585.f + 0,002667.a_p \quad [11.2]$$

$(R^2 = 0,69 \text{ ve } R_d^2 = 0,65)$

$$V_{b(120. sn)} = 0,032409 + 0,000300.V + 0,057895.f + 0,001556.a_p \quad [11.3]$$

$(R^2 = 0,66 \text{ ve } R_d^2 = 0,62)$

IC907 için V_b değerleri ;

$$V_{b(30. sn)} = 0,031965 + 0,000074.V + 0,066228.f + 0,002000.a_p \quad [11.4]$$

$(R^2 = 0,89 \text{ ve } R_d^2 = 0,87)$

$$V_{b(120. sn)} = 0,030105 + 0,000111.V + 0,070760.f + 0,002667.a_p \quad [11.5]$$

$(R^2 = 0,86 \text{ ve } R_d^2 = 0,84)$

11.1.2. İkinci Dereceden Aşınma Modeli

Bağımlı değişken V_b , kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği gibi 3 bağımsız değişkenin bir kombinasyonu olara hesaplanabilir. Bu durumda denkleminiz aşağıdaki gibi oluşacaktır;

$$V_b = k_0 + k_1.V + k_2.f + k_3.a_p + k_4.V^2 + k_5.f^2 + k_6.a_p^2 + k_7.V.f + k_8.V.a_p + k_9.f.a_p \quad [11.6]$$

Bu denklemin katsayılarını elde etmek için deneysel veriler üzerinde en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon analizi yapıldığında 2 farklı takım için aşağıdaki denklemler elde edilmiştir.

IC9007 için V_b değerleri ;

$$V_{b(30. sn)} = 0,131513 - 0,000533.V - 0,231920.f - 0,008737.a_p + 0,000001.V^2 + 0,342593.f^2 + 0,000889.a_p^2 + 0,000740.V.f + 0,000038.V.a_p + 0,015789.f.a_p \quad [11.7]$$

$(R^2 = 0,94 \text{ ve } R_d^2 = 0,92)$

$$V_{b(120. sn)} = 0,294097 - 0,002553.V - 0,172953.f - 0,025684.a_p + 0,000007.V^2 - 0,388889.f^2 + 0,002667.a_p^2 + 0,002303.V.f + 0,000125.V.a_p - 0,004386.f.a_p \quad [11.8]$$

$(R^2 = 0,93 \text{ ve } R_d^2 = 0,90)$

IC907 için V_b değerleri ;

$$\begin{aligned} V_{b(30. sn)} = & 0,028599 + 0,000020.V + 0,184893.f - 0,001544.a_p \\ & + 0,0000003.V^2 - 0,212963.f^2 + 0,001333.a_p^2 \\ & - 0,000269.V.f + 0,000000.V.a_p - 0,002632.f.a_p \end{aligned} \quad [11.9]$$

$$(R^2 = 0,91 \text{ ve } R_d^2 = 0,86)$$

$$\begin{aligned} V_{b(120. sn)} = & - 0,009633 + 0,000752.V - 0,092861.f + 0,007737.a_p \\ & - 0,0000019.V^2 + 0,462963.f^2 - 0,001778.a_p^2 \\ & - 0,000038.V.f - 0,000008.V.a_p + 0,009211 f.a_p \end{aligned} \quad [11.10]$$

$$(R^2 = 0,86 \text{ ve } R_d^2 = 0,84)$$

11.1.3. Üstel Aşınma Modeli

Bağımlı değişken V_b ile kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği bağımsız değişkenlerinin arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir ;

$$V_b = k_0.V^{k_1}.f^{k_2}.a_p^{k_3} \quad [11.11]$$

Bu denklem şu şekilde yazılabilir ;

$$\ln V_b = \ln k_0 + k_1 \ln V + k_2 \ln f + k_3 \ln a_p \quad [11.12]$$

Bu denklemin katsayılarını elde etmek için deneysel veriler üzerinde en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon analizi yapıldığında 2 farklı takım için aşağıdaki denklemler elde edilmiştir.

IC9007 için V_b değerleri ;

$$\begin{aligned} \ln V_{b(30. sn)} = & \ln(-3,161143) + 0,124744 \ln V + 0,053102 \ln f + 0,050219 \ln a_p \\ (R^2 = & 0,65 \text{ ve } R_d^2 = 0,61) \end{aligned} \quad [11.13]$$

$$\ln V_{b(120. sn)} = \ln(-4,570639) \cdot 0,464264 \ln V \cdot 0,094884 \ln f \cdot 0,021074 \ln a_p \quad [11.14]$$

$(R^2 = 0,62 \text{ ve } R_d^2 = 0,57)$

IC907 için V_b değerleri ;

$$\ln V_{b(30. sn)} = \ln(-3,519810) \cdot 0,196862 \ln V \cdot 0,189950 \ln f \cdot 0,048594 \ln a_p \quad [11.15]$$

$(R^2 = 0,87 \text{ ve } R_d^2 = 0,86)$

$$\ln V_{b(120. sn)} = \ln(-3,894332) \cdot 0,284439 \ln V \cdot 0,176854 \ln f \cdot 0,061075 \ln a_p \quad [11.16]$$

$(R^2 = 0,87 \text{ ve } R_d^2 = 0,85)$

11.1.4. En Uygun Modelin Seçilmesi

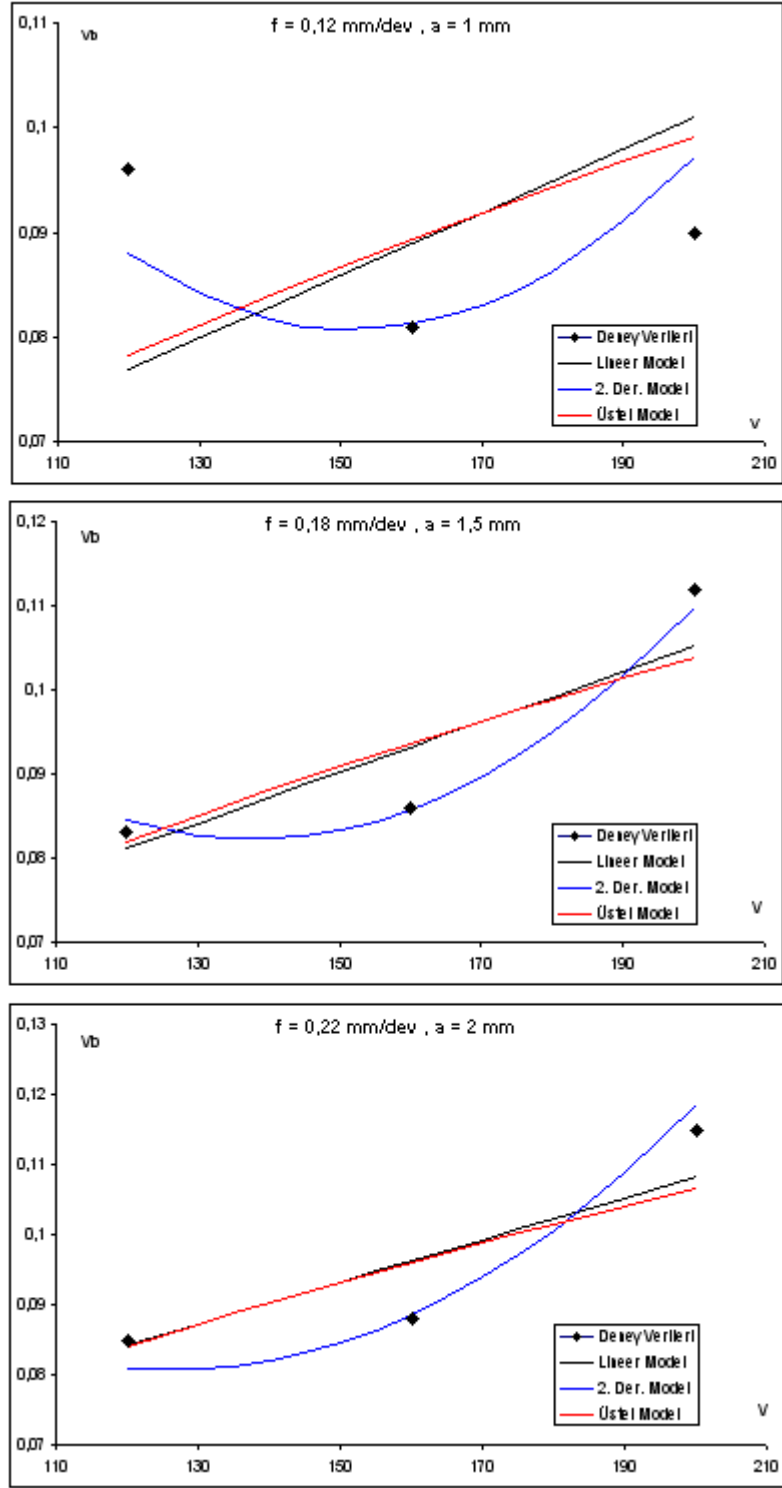
Tüm bu denklemler ile elde edilen aşınma değerleri ile deneysel olarak elde edilen aşınma değerleri birbiriyle karşılaştırılarak en dengeli sonuç veren modelin seçilmesi sağlanmıştır.

Tüm bu işlemlerin yapılmasında bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Bilgisayar programına giriş olarak deneyler sonucunda bulunan aşınma değeri, kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliği girilmiş ve sonuç olarak hesaplanan aşınması değerinin deneylerde bulunan aşınma değerlerine göre hatası % olarak verilmiştir (Tablo 11.4). Bu hesaplama işleminde yukarıda bulunan matematiksel modeller kullanılmıştır. Serbest yüzey aşınması (V_b) her ilerleme oranı, talaş derinliği ve kesme hızı değerleri için bahsedilen matematiksel modeller kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ancak çok yer kaplamaması açısından tabloda, sabit ilerleme oranı ve talaş derinliği için üç farklı kesme hızında hesaplanan serbest yüzey aşınmalarının ortalaması gösterilmiştir.

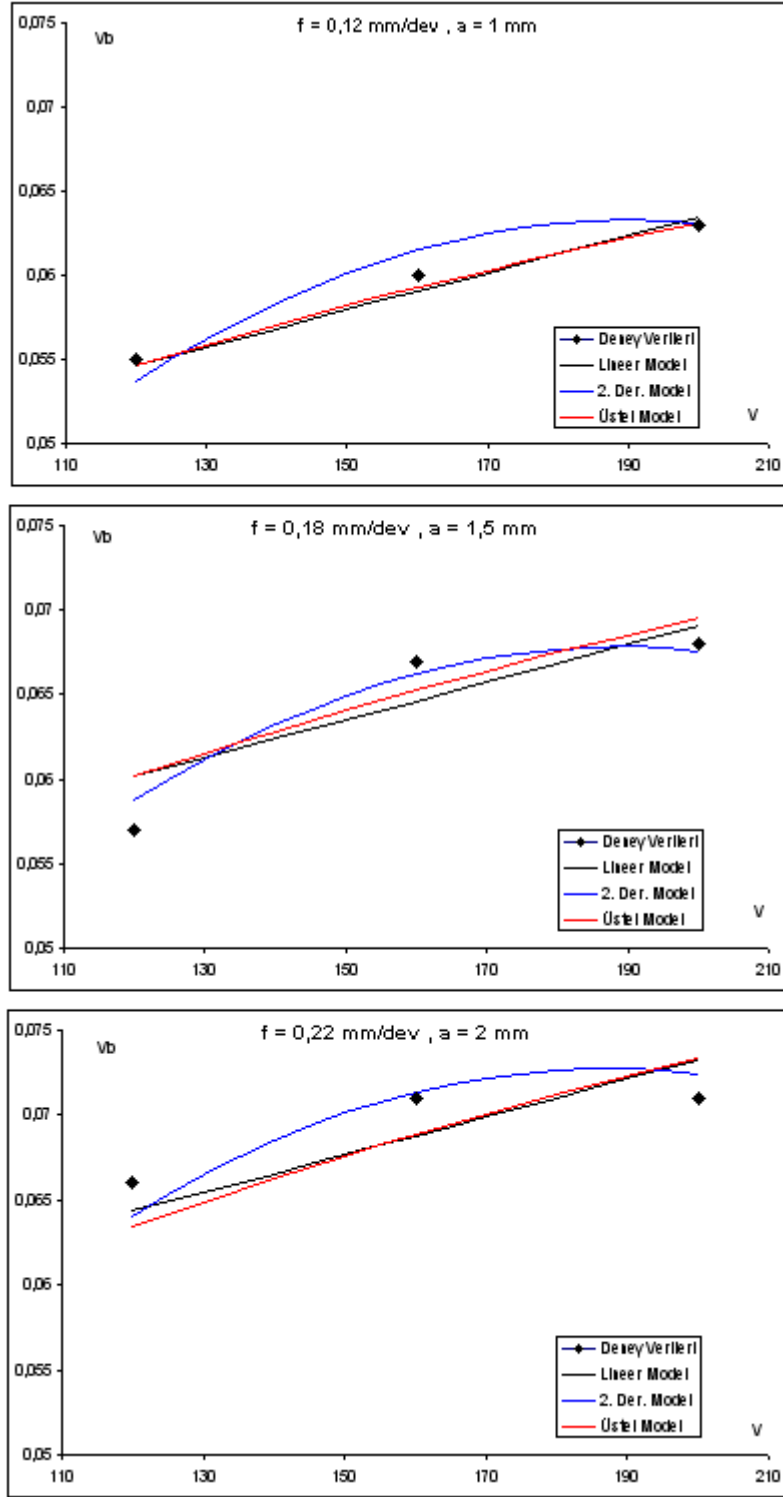
Tablo 11.4. Toplam Ortalama Hata (V_b Serbest Yüzey Aşınması)

	f (mm/dev)	a (mm)	IC 9007			IC 907		
			Lineer	2.der.	Üstel	Lineer	2.der.	Üstel
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
30. Saniye	0,12	1	1,90	0,56	1,78	2,03	1,72	2,32
	0,18	1	2,16	0,98	2,08	2,59	2,83	2,44
	0,22	1	1,17	0,63	1,29	1,77	1,07	1,85
	0,12	1,5	1,65	0,59	1,73	2,66	2,49	2,91
	0,18	1,5	1,36	0,47	1,65	1,51	1,96	1,49
	0,22	1,5	1,73	0,19	1,89	1,19	0,73	1,45
	0,12	2	2,18	0,73	2,07	3,22	2,83	3,60
	0,18	2	2,45	1,44	2,62	1,10	0,98	0,82
	0,22	2	2,26	0,58	2,28	0,51	0,71	0,32
120. Saniye	0,12	1	13,93	5,52	12,98	1,03	1,67	0,72
	0,18	1	6,21	3,28	6,48	4,94	2,19	4,70
	0,22	1	5,63	1,60	6,08	2,12	0,62	1,57
	0,12	1,5	4,18	2,99	3,34	1,01	1,20	0,82
	0,18	1,5	5,55	1,36	5,82	3,56	1,58	3,45
	0,22	1,5	5,36	1,00	5,82	2,09	0,71	2,44
	0,12	2	5,41	2,47	5,75	1,43	0,86	1,09
	0,18	2	5,98	0,89	6,32	2,73	1,92	2,50
	0,22	2	5,37	2,78	5,90	2,93	1,84	3,42
Toplam Ortalama Hata =			4,138	1,559	4,215	2,135	1,550	2,107

Şekil 11.1-11.2' den ve Tablo 11.4' den de görüldüğü gibi IC907 için bazı istisnalar olsa da her iki takım içinde ikinci dereceden modelin en uygun sonuçları verdiği görülmektedir.



Şekil 11.1. Deneysel V_b verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC9007)



Şekil 11.2. Deneysel V_b verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması
(IC907)

11.2. Yüzey Pürüzlülüğü Modelinin Oluşturulması

Yüzey pürüzlülüğü sonuç ve kesme parametreleri giriş olarak kabul edilirse bunlar arasındaki ilişki lineer, ikinci dereceden ve üstel olarak üç değişik denklem ile ifade edilebilir.

Serbest yüzey aşınması modelinin bulunmasında kullanılan adımlar aynen kullanılarak aşağıdaki lineer, 2. dereceden ve üstel yüzey pürüzlülüğü modelleri oluşturulmuştur.

Lineer R_a modelleri ;

$$R_{a(1C9007)} = - 0,034038 - 0,004951.V + 12,571053.f + 0,106111.a_p \quad [11.17]$$

($R^2 = 0,93$ ve $R_d^2 = 0,92$)

$$R_{a(1C907)} = - 0,533368 - 0,001138.V + 9,882895.f + 0,235778.a_p \quad [11.18]$$

($R^2 = 0,94$ ve $R_d^2 = 0,93$)

2. dereceden R_a modelleri ;

$$R_{a(1C9007)} = 2,228504 - 0,018730.V - 4,875512.f + 0,216281.a_p$$

$$+ 0,000071.V^2 + 79,888889.f^2 - 0,058000.a_p^2 \quad [11.19]$$

$$- 0,057226.V.f + 0,000621.V.a_p - 0,204825.f.a_p$$

($R^2 = 0,98$ ve $R_d^2 = 0,97$)

$$R_{a(1C907)} = - 0,155678 + 0,007654.V - 1,737500.f + 0,046754.a_p$$

$$- 0,000017.V^2 + 33,916667.f^2 + 8,22E-14.a_p^2 \quad [11.20]$$

$$- 0,013904.V.f - 0,000567.V.a_p + 1,613596.f.a_p$$

($R^2 = 0,95$ ve $R_d^2 = 0,93$)

Üstel R_a modelleri ;

$$R_{a(IC9007)} = \ln(5,306750) \cdot (-0,485202) \ln V \cdot 1,434331 \ln f \cdot 0,122558 \ln a_p \quad [11.21]$$

($R^2 = 0,97$ ve $R_d^2 = 0,96$)

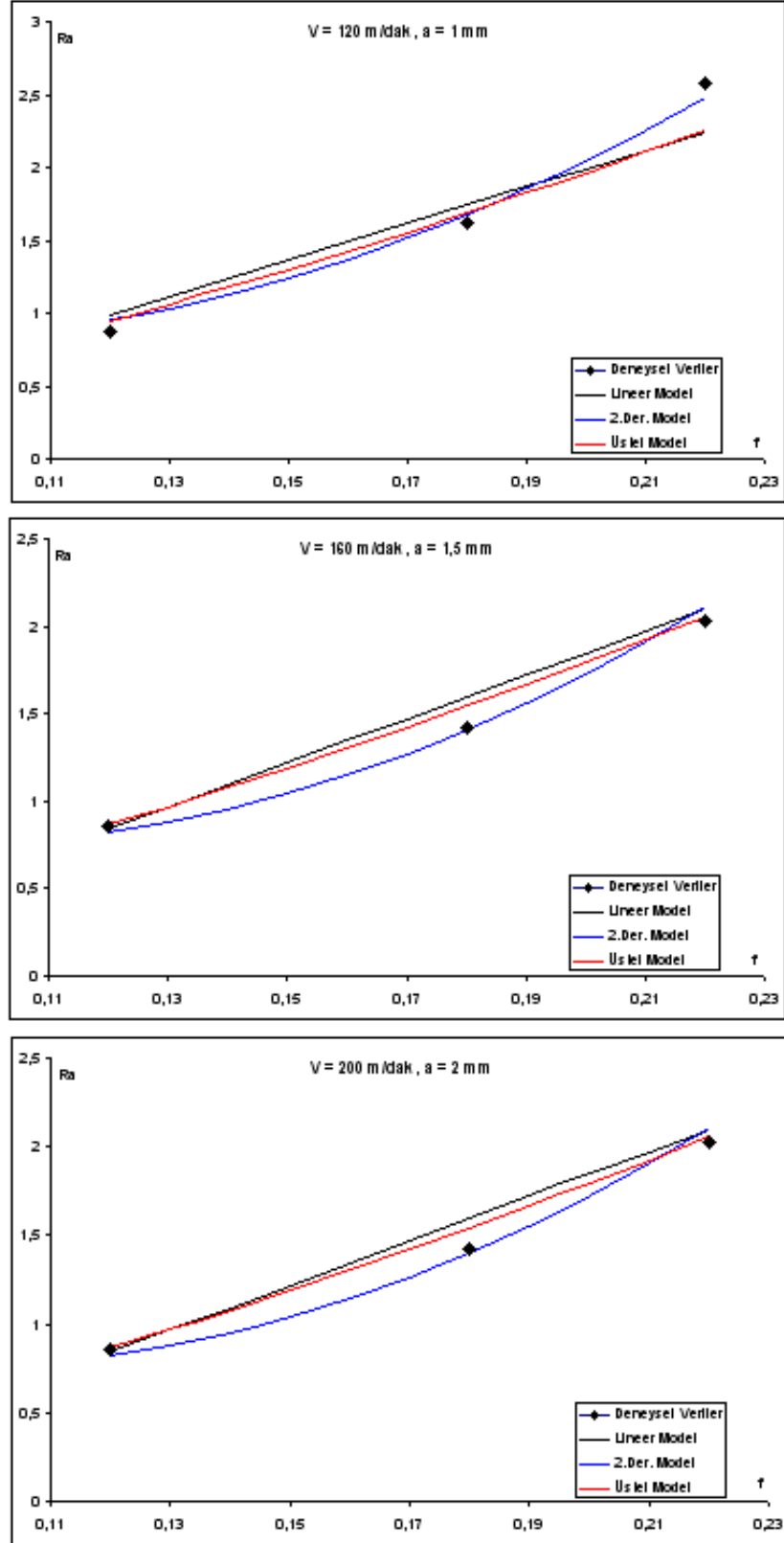
$$R_{a(IC907)} = \ln(3,035425) \cdot (-0,121693) \ln V \cdot 1,271060 \ln f \cdot 0,252474 \ln a_p \quad [11.22]$$

($R^2 = 0,96$ ve $R_d^2 = 0,95$)

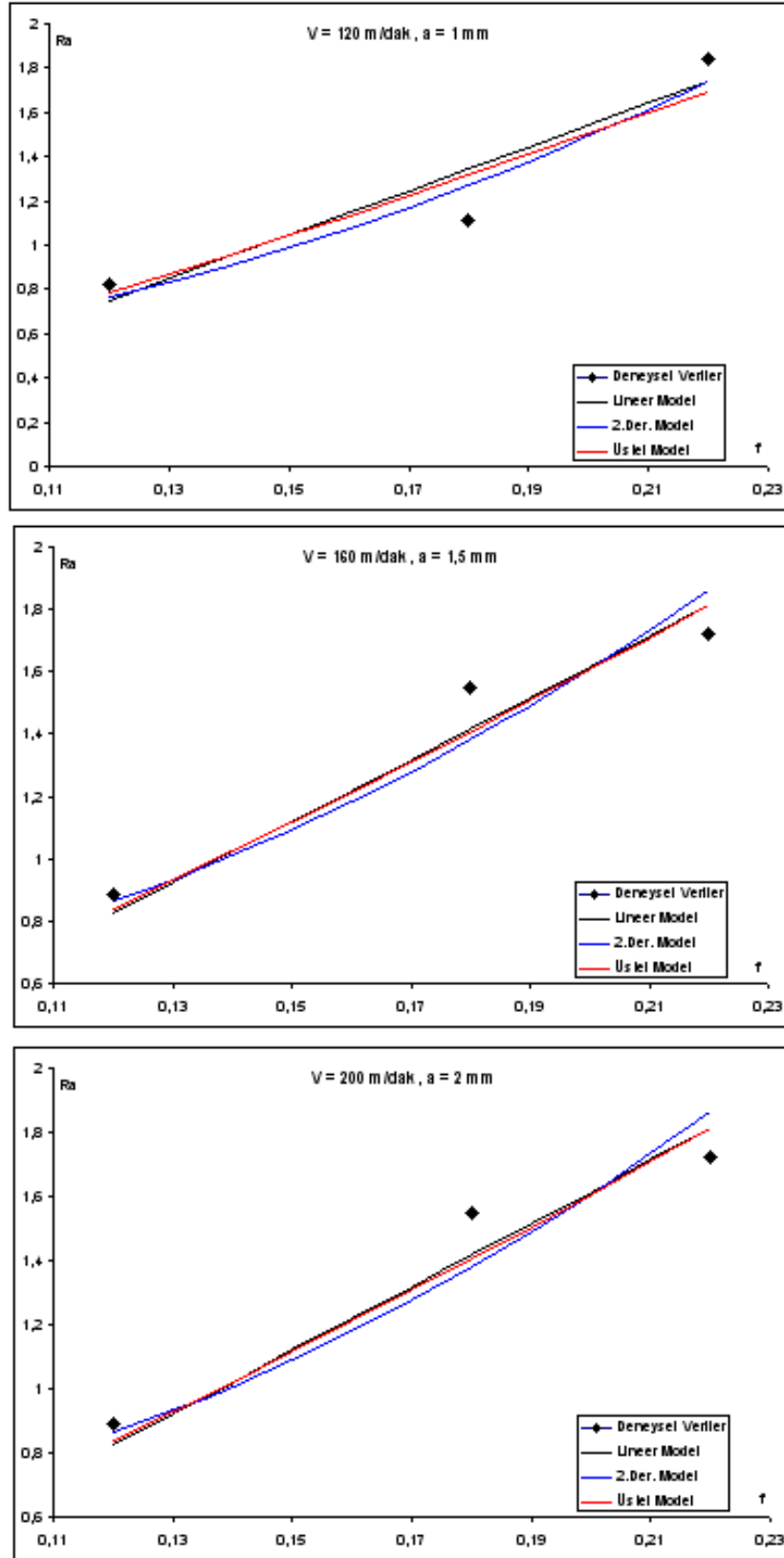
Tüm bu denklemler ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile deneyler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri birbiriyle karşılaştırılarak en dengeli sonuç veren modelin seçilmesi sağlanmıştır (Tablo 11.5). Tüm bu işlemlerin yapılması aşınma modelinde de olduğu gibi bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Ancak çok yer kaplamaması açısından tabloda, sabit kesme hızı ve talaş derinliği için üç farklı ilerleme oranında hesaplanan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması gösterilmiştir.

Tablo 11.5. Toplam Ortalama Hata (R_a Yüzey Pürüzlülüğü)

V (m/dak)	a (mm)	IC 9007			IC 907		
		Lineer (%)	2.der. (%)	Üstel (%)	Lineer (%)	2.der. (%)	Üstel (%)
120	1	11,29	5,74	8,50	11,80	8,95	10,33
160	1	5,55	4,68	2,74	4,56	1,80	3,16
200	1	10,75	3,50	2,30	3,93	6,49	3,93
120	1,5	8,65	5,12	8,80	7,50	5,06	6,97
160	1,5	5,95	2,98	3,56	6,93	7,17	6,62
200	1,5	7,15	5,18	2,20	1,82	2,30	2,76
120	2	8,28	5,28	8,76	8,81	7,76	9,33
160	2	6,39	1,27	4,94	1,15	3,24	3,19
200	2	7,32	4,05	3,55	2,96	4,47	2,90
Toplam Ortalama Hata =		7,926	4,199	5,038	5,496	5,248	5,465



Şekil 11.3. Deneysel R_a verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması (IC9007)



Şekil 11.4. Deneysel R_a verilerinin regresyon modelleriyle karşılaştırılması
(IC907)

Şekil 11.3-11.4' den ve Tablo 11.6' dan da görüldüğü gibi IC9007 için kısmen üstel model daha küçük hata verse de genel durumda ve toplamda 2. dereceden modelin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. IC907 için ise bazı durumlarda lineer model daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak toplamda baktığımızda yine 2. dereceden modelin minimum hataya sahip olduğu görülmektedir.

12. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sırayla yapılan deneyler sonucunda bir önceki bölümde anlatılan bulgular elde edilmiştir. Deneyler sonucunda mikroskop ile ölçülen serbest yüzey aşınması değerlerinden en küçük kareler yöntemi kullanılarak lineer, 2. dereceden ve üstel regresyon modelleri bulunmuştur. Yine her deneyden sonra ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinden de aynı metot ile üç farklı regresyon modeli bulunmuştur.

Bu üç farklı regresyon modelinin hangisinin deneysel verilere daha uygun olduğunu bulmak için ise hata analizi yapılmıştır. Aynı kesme parametreleri için regresyon modellerinden bulunan sonuçlar ile deneyler sonucunda elde edilen serbest yüzey aşınması değerleri karşılaştırılmış ve hangi modelin deneyde elde edilen verilere daha yakın sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Bu sonuçlar eşliğinde serbest yüzey aşınması için her iki kesici takım içinde 2. dereceden regresyon modelinin en uygun sonuçları verdiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü için ise IC907 kesici takımı için her üç modelde birbirine yakın sonuçlar verse de toplamda her iki kesici takım için yine 2. dereceden regresyon modelinin en uygun sonuçları verdiği görülmüştür.

Bu modellerin elde edilmesi sırasında bir takım hataların oluşabileceği açıktır. Özellikle tezgahımızın klasik torna tezgahı olması bakımından kesme hızlarının ayarlanması tezgah devir oranlarının müsaade ettiği oranda olabilmektedir. Ancak işlendikçe azalan iş parçası çapı ve tezgah devir oranları öyle ayarlanmıştır ki istenen kesme hızı değeri ± 10 m/dak olacak şekilde deneyler yapılabilmektedir.

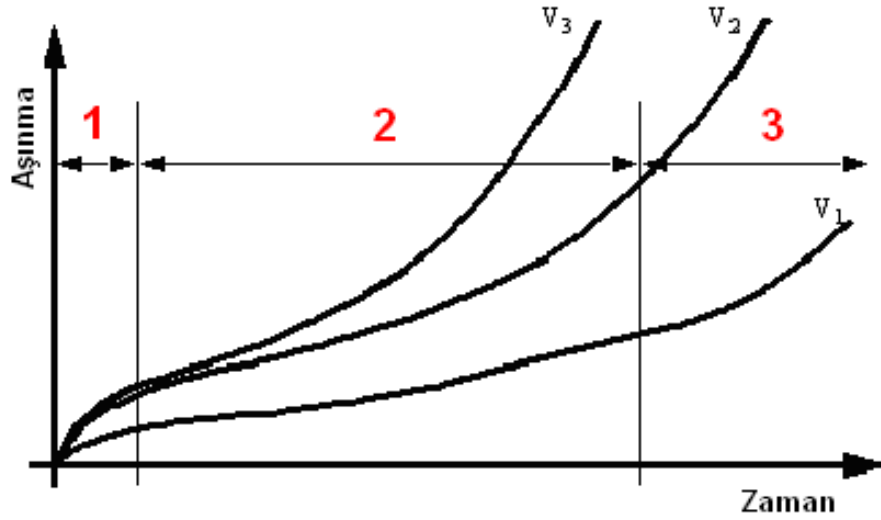
Yapılan her ölçümde en az 3 değer alınıp bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Böylece olası gözlem hataları olabildiğince düşük tutulmuştur..

Yine her 30 saniyede bir ölçme için kesici takım çıkartıldığında tekrar bağlamalarda ucun rijit olarak bağlanmasına dikkat edilmiştir. Ancak ölçüm için ara verilen deneylere devam edilirken kesici takımın iş parçasına ilk teması

anında oluşan çarpmanın etkisi de sonuçlarda bir hata payı olarak göz önüne alınmıştır.

Bütün bu veriler ışığında, dış etkenlerin ve kesme hızı değişkenliğinin etkisiyle elde edilen sonuçlarda %10' luk bir hata payının oluşabileceğini kabul etmemiz gerekmektedir.

Yapılan çalışmanın ana amacı aynı talaş kırıcı profiline sahip fakat kaplama tabakaları farklı olan uçların ilk aşınma bölgesindeki (Şekil 12.1) performanslarını karşılaştırmaktır.



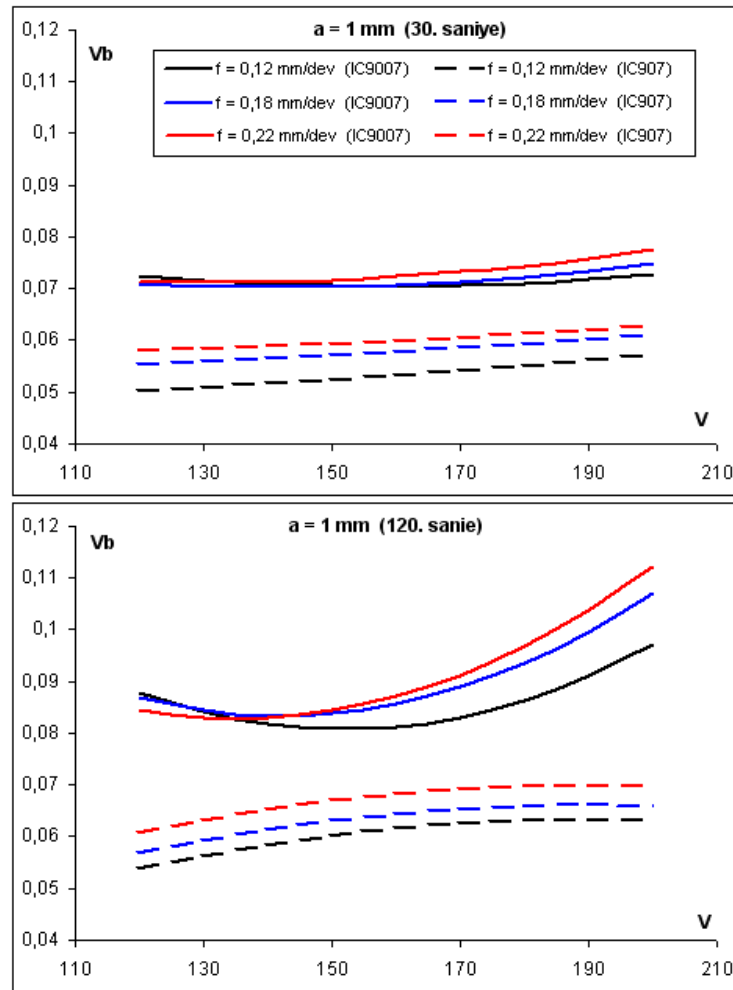
Şekil 12.1. Zamana göre aşınma gelişimi diyagramında aşınma bölgeleri

Şekil 12.1' de zaman bağılı olarak değişik kesme hızlarındaki ($V_1 < V_2 < V_3$) aşınma gelişimi grafikleri gösterilmiştir. Bu grafik üzerinde 1 numara ile gösterilen bölge ilk aşınma bölgesidir. Bu bölgede takımın parçaya ilk teması ile birlikte meydana gelen çarpmanın da etkisiyle aşınma hızlı bir gelişim gösterir. 2 numarayla gösterilen bölge ise düzenli aşınma bölgesidir. Kesme parametrelerine bağlı olarak bir gelişim gösterir. Genelde ilk ve ani aşınma bölgelerine kıyasla daha düşük bir eğime sahiptir. 3 numarayla gösterilen kısım ise artık takımın ömrünü tamamlamaya yaklaştığı ani aşınma bölgesidir. Bu bölgede artık iyice körelen kesici takım ani bir aşınma artışı gösterir ve bu ani aşınma artışını takiben takım kırılır.

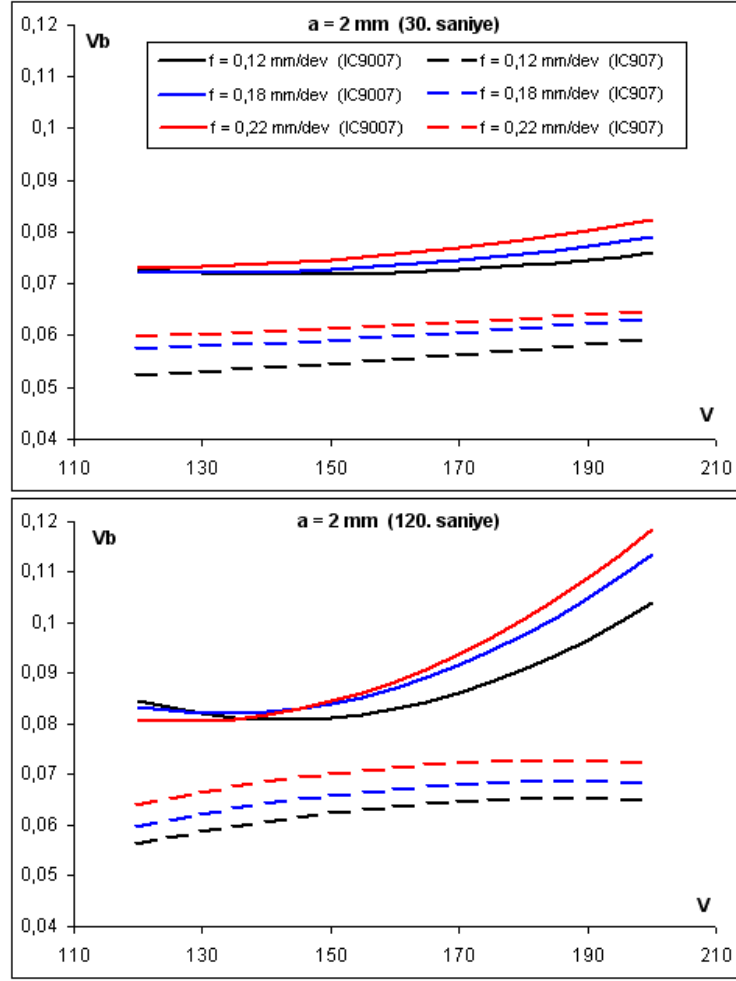
Yapılan deneyler toplam 120 saniye sürdüğünden takım aşınması ilk aşınma bölgesinde kalmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada takım ömründen ziyade ilk aşınma bölgesinde kesici takımın nasıl bir aşınma davranışı gösterdiği incelenmiştir. Bu inceleme de her iki kesici takım içinde en iyi sonuçları veren 2. dereceden regresyon modeli kullanılmıştır.

12.1. Kesme Hızının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi

Bilindiği gibi kesme hızı, kesme parametreleri içinde, takım ömrüne en çok etki eden faktördür. Kesme hızının artması kesme sıcaklığını arttıracak ve buda takımın ömrünü kısıltacaktır.



Şekil 12.2. Kesme hızı (V) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=1$ mm)



Şekil 12.3. Kesme hızı (V) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=2$ mm)

Kesme hızının %50 oranında artması takım ömrünün %90 oranında azalmasına neden olmaktadır. Kesme hızının düşük olması ise tırlamaya yol açarak takım ömrünü kısaltır. Şekil 12.2 ve 12.3' den de görüldüğü gibi takım ömrünün ilk 120 saniyesi incelendiğinde kesme hızının aşınmaya etkileri şu şekilde oluşmuştur.:

- Takım ömrünün ilk 30. saniyesinde kesme hızının etkisi çok zayıftır. Ancak işleme süresi arttıkça kesme hızı aşınma üzerine etkisini göstermeye başlamaktadır.
- TiCN, Al₂O₃, TiN kaplama tabakalarına sahip IC 9007 kesici takımının,

TiAlN kaplama tabakasına sahip IC907 kesici takımına göre artan hızdan çok daha fazla etkilendiği görülmektedir. Özellikle 120 saniye sonunda IC9007' deki hız artışından kaynaklanan aşınma gelişimi açıkça görülebilmektedir. IC907' de ise aşınma dayanımı daha yüksek olan TiAlN kaplama tabakası sayesinde serbest yüzey aşınması değerlerinin daha düşük çıktığı görülmüştür.

- Özellikle 120 saniyedeki aşınma grafiklerinden de görüldüğü gibi, IC907 kesici takımında yüksek hızlarda oluşan Al_2O_3 koruyucu kalkan tabakasının, takım üzerindeki kaplamayı koruyarak aşınma artışını azaltıcı yönde etki gösterdiği görülmüştür.

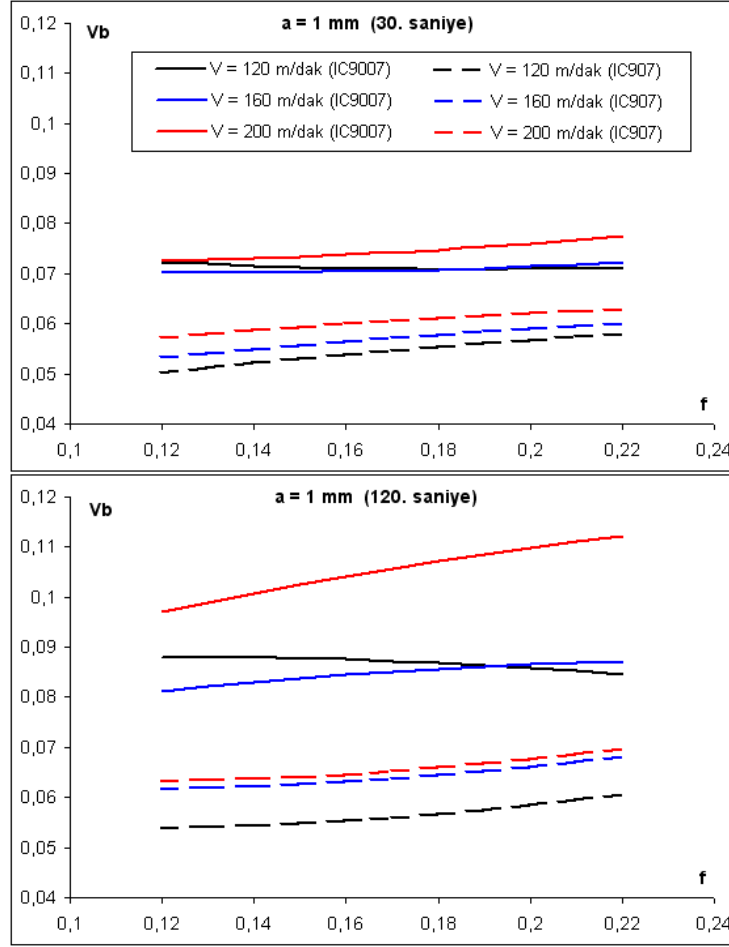
12.2. İlerleme Oranının Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi

Kesme hızından sonra serbest yüzey aşınmasına en büyük etkiyi gösteren kesme parametresi ilerleme oranıdır. İlerleme oranının artması kesme sıcaklığını arttıracak ve buda takım ömrünün azalmasına neden olacaktır.

İlerleme oranının %50 oranında artması takım ömrünün %60 oranında azalmasına neden olmaktadır. İlerleme oranının düşük olması ise serbest yüzey aşınmasına sebep olarak takım ömrünün kılmasına neden olur.

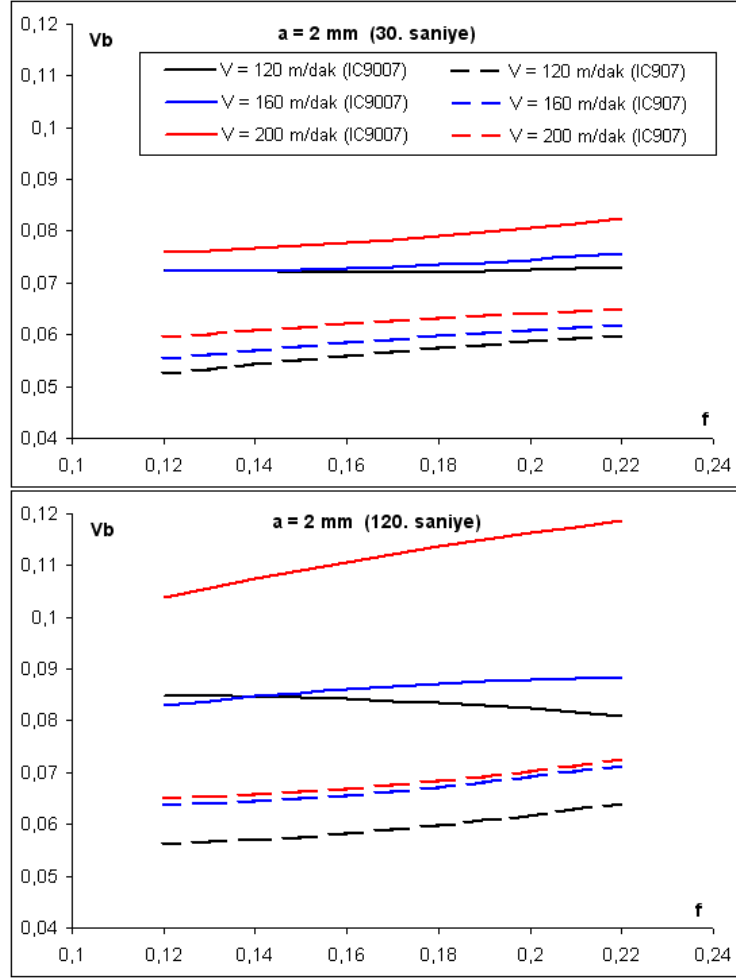
Takım ömrünün ilk 120 saniyesi incelendiğinde ilerleme oranının aşınma üzerindeki etkisi şu şekilde gelişmiştir (Şekil 12.4 ve 12.5):

- Her iki Takım içinde İlk 30 saniye sonunda henüz ilerlemenin aşınmayı çok fazla etkilemediği görülmüştür. Ancak ilerleyen zamanlarda etkisi artmıştır.
- IC9007 kesici takımında ilerlemenin artması takım aşınmasında belirgin bir artışa sebep olmuştur. Özellikle yüksek kesme hızlarında ilerleme arttırıldığında, ilerleme oranının aşınmaya etkisi, kesme hızının aşınmaya olan etkisiyle birleşerek hızla artan bir aşınma eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 12.4. İlerleme oranı (f) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=1$ mm)

- Düşük kesme hızlarında; düşük talaş derinliği ve düşük ilerleme oranlarının kullanılması tırlamaya yol açarak aşınma dayanımı daha zayıf olan IC9007 kesici takımında daha yüksek serbest yüzey aşınması değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur. Özellikle Şekil 12.4 (30. saniye)'deki grafikten de görüldüğü gibi ilerleme oranı 0.12 mm/dev de elde edilen serbest yüzey aşınması değeri 0.22 mm/dev deki değere göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak ilerleme oranının daha da artması sonucunda serbest yüzey aşınmasının artarak bu eğrinin tekrar yükselişe geçeceği söylenebilir.

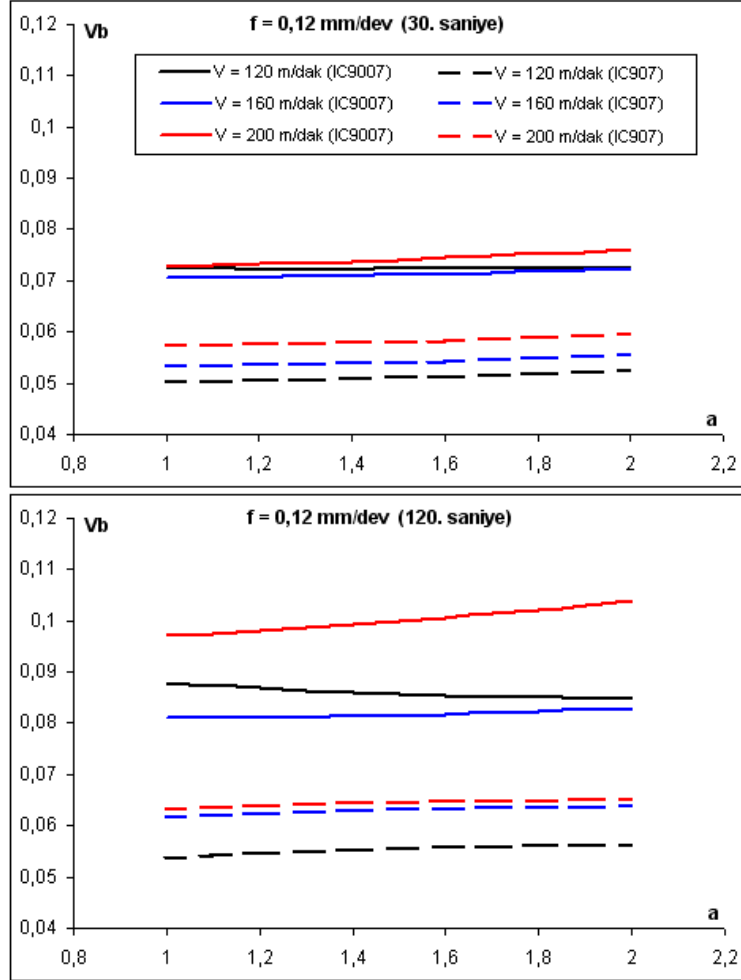


Şekil 12.5. İlerleme oranı (f) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($a=2$ mm)

- IC907 kesici takımının ise yine aşınmaya karşı yüksek dayanımlı kaplama tabakası sayesinde ilerleme oranı arttıkça daha kararlı bir serbest yüzey aşınması gelişimi gösterdiği görülmüştür.

12.3. Talaş Derinliğinin Serbest Yüzey Aşınmasına Etkisi

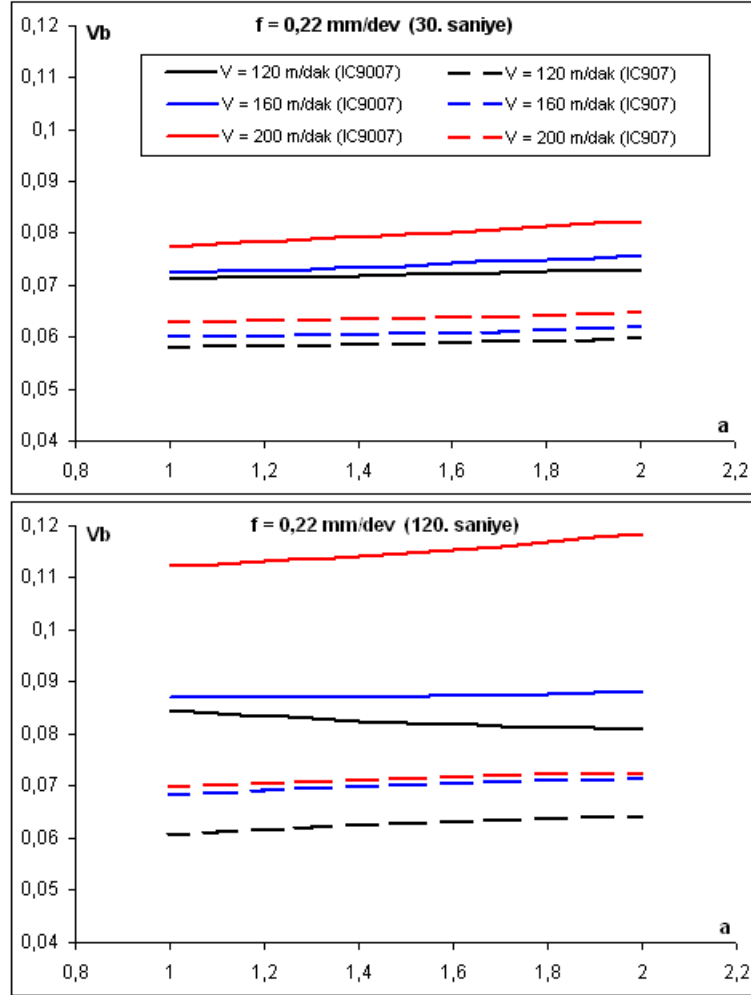
Serbest yüzey aşınmasına en küçük etkiyi talaş derinliğinin yarattığı bilinmektedir. Öyle ki; talaş derinliğinin %50 oranında artması takım ömrünün %6 oranında azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 12.6. Talaş derinliği (a_p) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($f=0,12$ mm/dev)

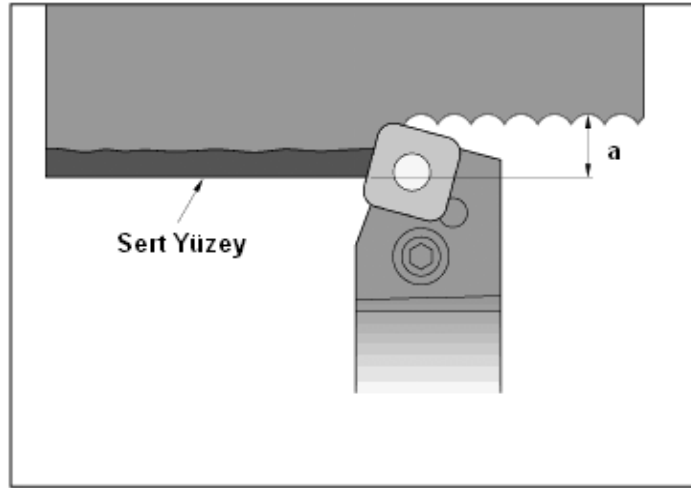
Şekil 12.6 ve 12.7 de değişik hızlar için talaş derinliğinin serbest yüzey aşınmasına olan etkisi gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi;

- Takım ömrünün ilk 120 saniyesi içerisinde talaş derinliğinin artırılması serbest yüzey aşınması üzerine dikkate değer bir etkide bulunmamıştır. Öyle ki değişik kesme parametrelerinde yapılan deneyler incelendiğinde, talaş derinliğinin %100 oranında artışında bile serbest yüzey aşınması değerinin ancak ortalama %3 oranında bir artış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 12.7. Talaş derinliği (a_p) – Serbest yüzey aşınması (V_b) ($f=0,22$ mm/dev)

- IC9007 kesici takımına ait grafikler incelendiğinde (Şekil 12.6, 120. saniye), düşük talaş derinliğinin özellikle 0,12 mm/dev gibi düşük bir ilerleme oranı ve 120 m/dak gibi düşük bir kesme hızı ile birlikte uygulandığında serbest yüzey aşınmasının nasıl bir artış gösterdiği görülmektedir. Öyle ki bu kesme parametrelerinde yapılan deneyler sonucunda 120 saniye sonunda kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınması, kesme hızının 160 m/dak olduğu deneylerden elde edilen aşınma değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle iş parçası üzerindeki sert tabakayı (Şekil 12.8) özellikle zayıf kaplama tabakasına sahip bir kesici takım ucuyla kesip, kesici uç üzerinde dökülme ve anormal bir aşınmaya yol açmamak için, talaş derinliğini tezgah gücünün izin verdiği ölçüde artırılması gerekir.



Şekil 12.8. İş parçası üzerindeki kesilmemiş sert yüzey tabakası

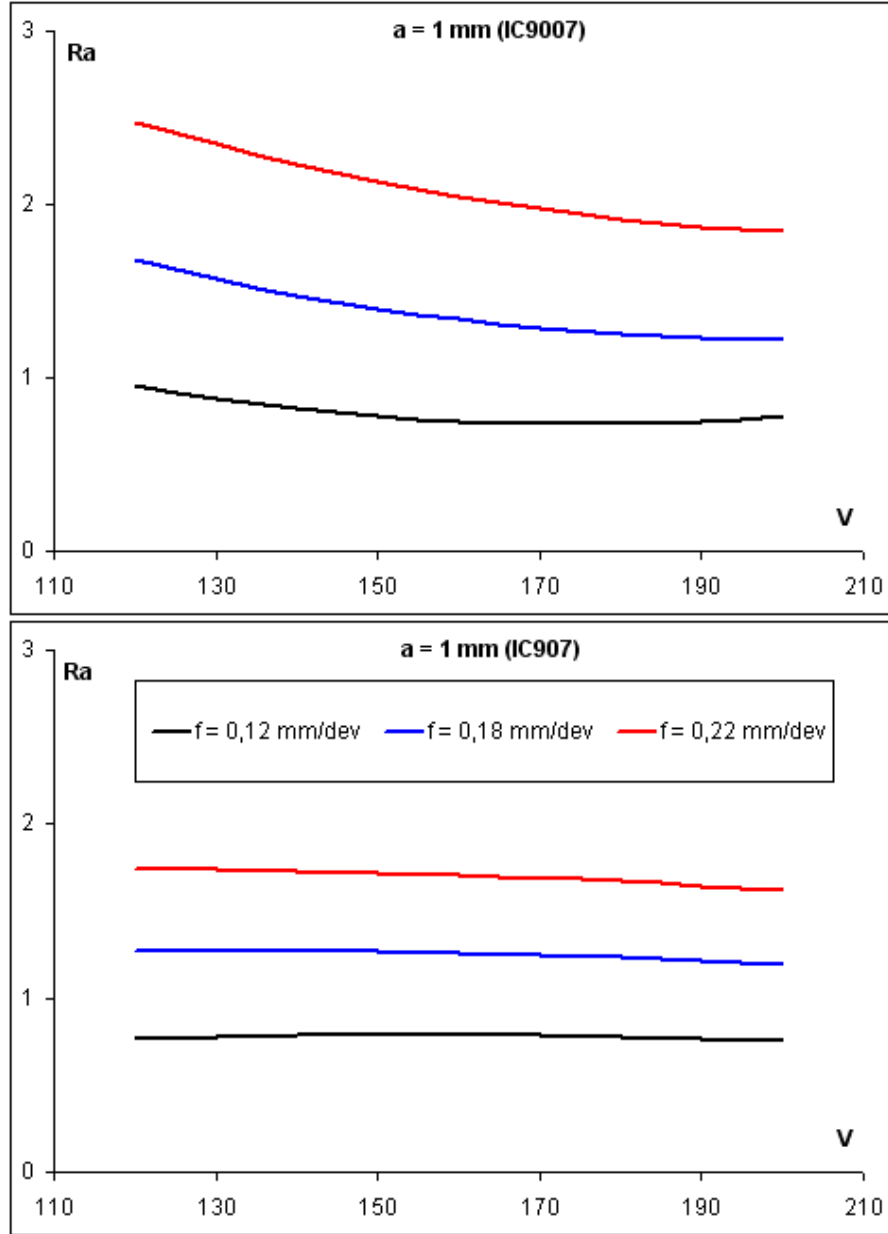
- IC907 kesici takımı ise aşınma dayanımı yüksek TiAlN kaplama tabakasının kararlı yapısı sayesinde bir üst maddede anlatılan problemlerden hiç etkilenmemiştir.

12.4. Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Bilindiği gibi yüzey kalitesi ilerleme ile köşe radyüsünün bir fonksiyonudur. Ancak bu sonuç teorik bir sonuçtur. Pratikte kesme hızı, talaş derinliği ve kesici kenardaki aşınma da yüzey pürüzlülüğüne etkide bulunurlar. Deneyde kullanılan kesici takımlar aynı köşe radyüsüne sahip olduklarından bu çalışmada köşe radyüsünün yüzey kalitesine olan etkisi incelenmemiştir. Aynı zamanda 120 saniyelik bir işleme süresince kesici takım aşınmasının yüzey kalitesini etkileyecek düzeyde artmamasından dolayı bu çalışmada aşınmanın etkisi de ihmal edilmiştir.

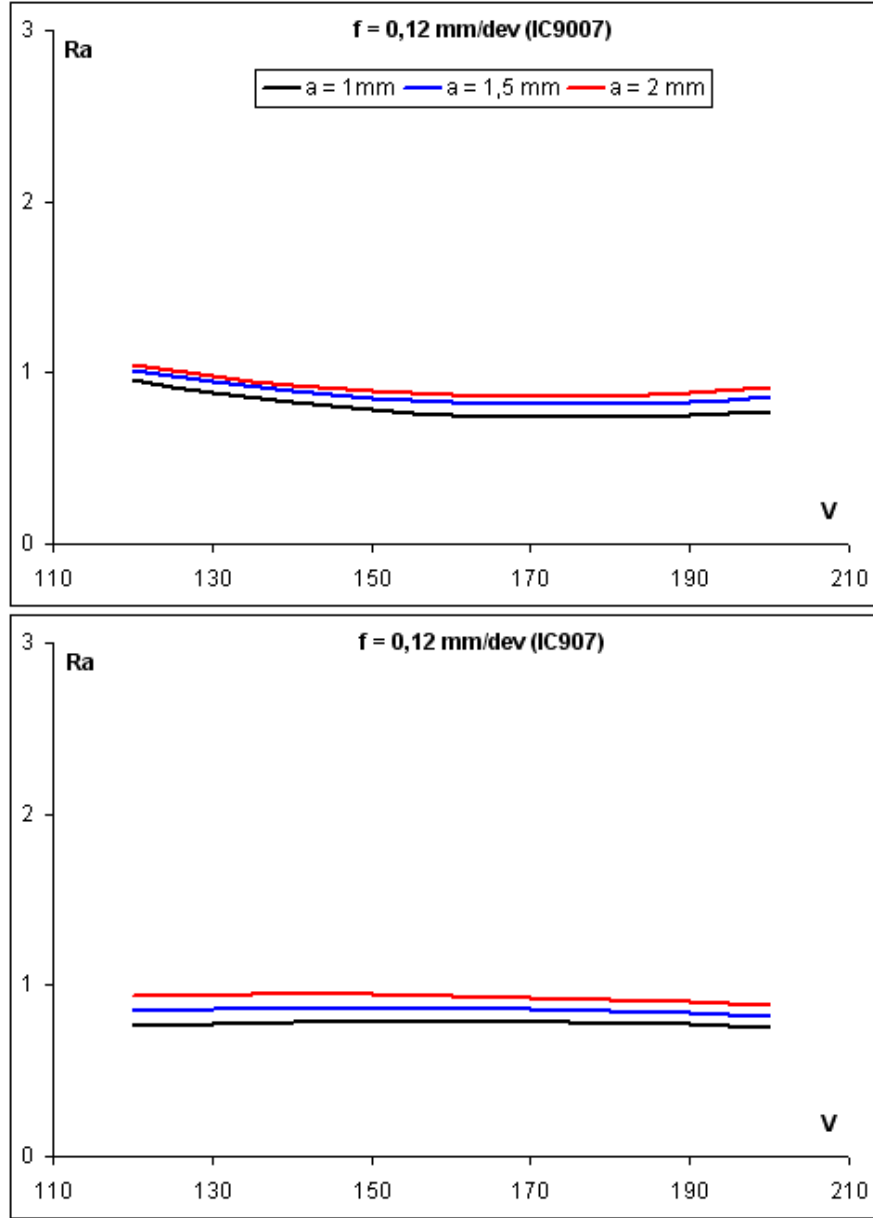
Bu çalışmada kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici takım üzerindeki kaplama tabakasının yüzey kalitesine ne gibi etkiler yaptığı incelenmiştir. Bu etkiler şunlardır;

- Şekil 12.9' da görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğüne en büyük etkiyi ilerleme oranı yapmıştır. İlerleme oranındaki azalma kesme kuvvetlerini azaltarak sönümlenme etkisini çoğaltmış ve böylece meydana gelen titreşimi azaltarak daha güzel bir yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır.
- Yüzey kalitesi üzerindeki diğer bir faktör ise kesme hızıdır. Kesme hızı yeteri kadar yüksek olduğunda, doğal frekans ve titreşimin etkisi kayda değer bir önem arz etmez ve dolayısıyla daha iyi yüzey kalitesi değerlerine ulaşılır (Sturesson, Hakansson, Claesson, 1997). Şekil 12.9' dan da görüldüğü gibi kesme hızının artması kuvvetleri düşürerek titreşimin azalmasına sebep olmuş ve böylece daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir.



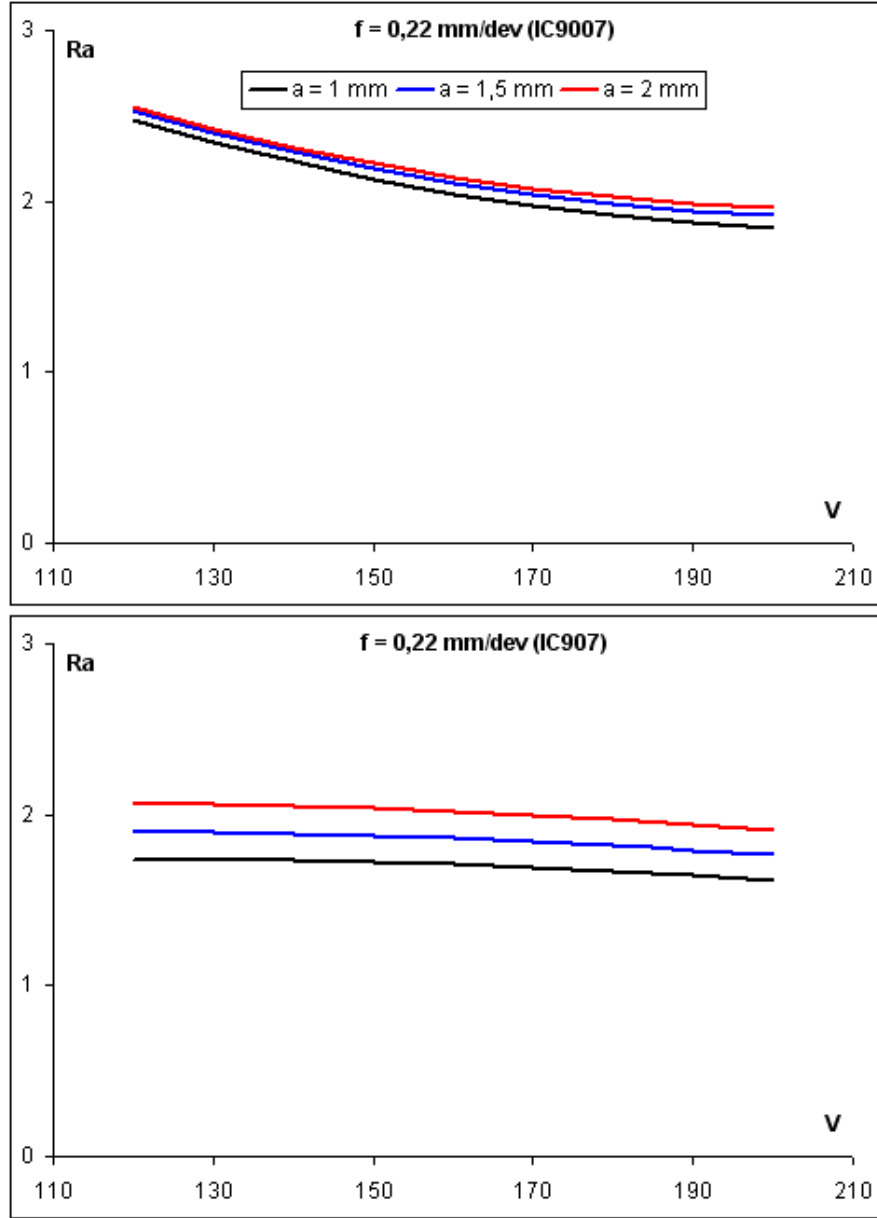
Şekil 12.9. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($a=1$ mm)

- Yine Şekil 12.9' dan görülebileceği gibi düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı parametrelerinin birleştiği noktalarda en iyi yüzey kalitesi değerleri elde edilmiştir.



Şekil 12.10. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($f=0,12$ mm/dev)

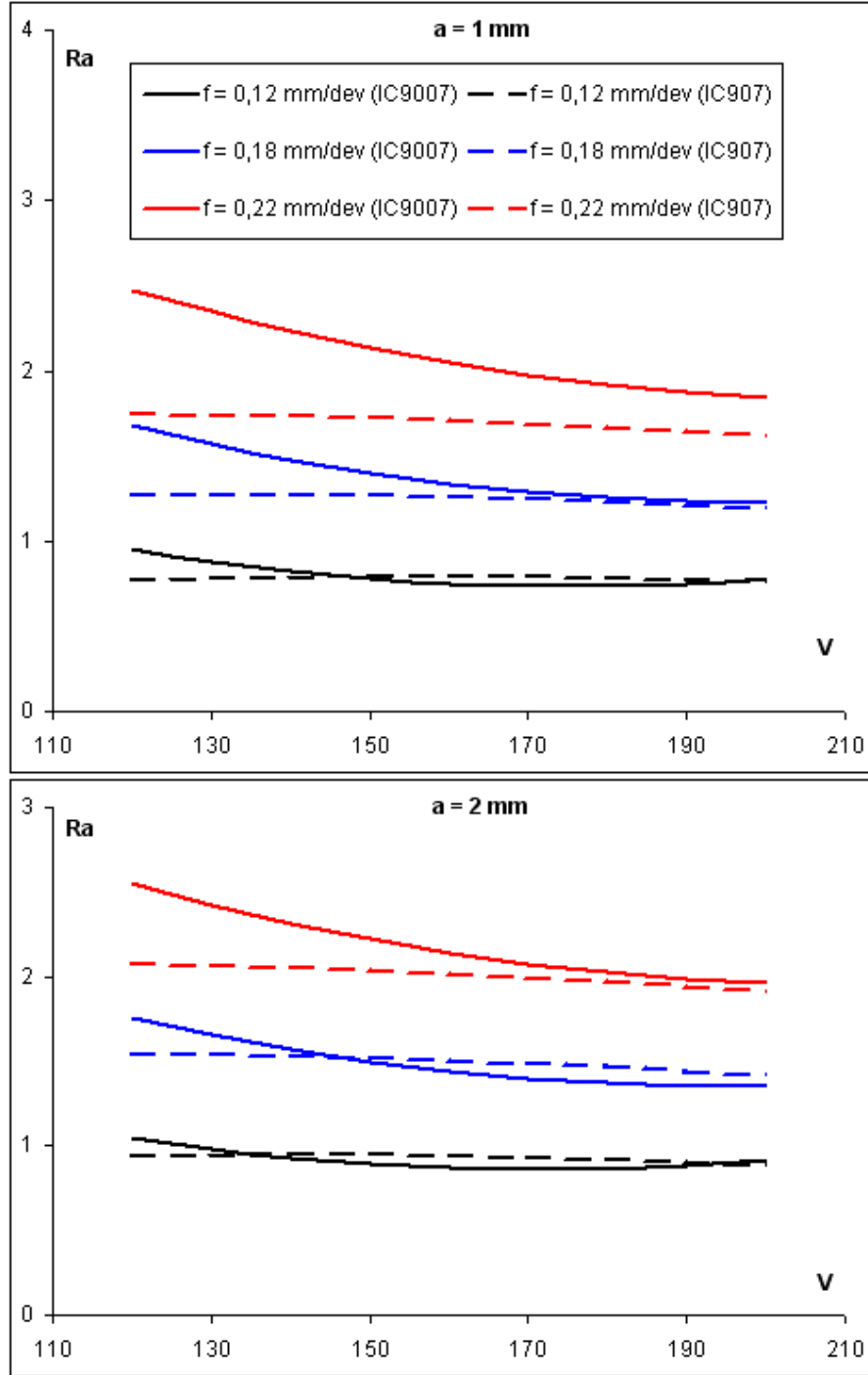
- Bir diğer kesme parametresi olan talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde göze çarpan bir etkisinin olmadığı Şekil 12.10 ve 12.11' de görülmektedir. Talaş derinliğinin %100 oranında artırılması bile yüzey kalitesi üzerinde dikkate değer bir artış yaratmamıştır.



Şekil 12.11. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($f=0,22$ mm/dev)

12.5. Kaplama Tabakasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Kaplama tabakasının yüzey kalitesi üzerindeki etkileri Şekil 12.12' de ki 1 mm ve 2 mm lik talaş derinlikleri için oluşturulan iki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 12.12. Kesme Hızı (V) – Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) ($a=1$ mm, $a=2$ mm)

- Bu iki grafikten görüldüğü gibi genel olarak kesme hızı arttığında iş parçası yüzey kalitesinde bir düzelme görülmüştür. Ancak bu düzelme IC9007 kesici takımında daha belirgin olmuştur. Bu sonucu kesme

kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlı olarak artan titreşime bağlayabiliriz. Kesme hızı arttıkça sıcaklık artar, buna bağlı olarak titreşime yol açan kesme kuvvetlerinin genliği azalır ve daha düzgün bir yüzey kalitesi elde edilir. Ancak artan kesme hızıyla takım yüzeyinde oluşan sıcaklık artacağından bu işlemin devamında takımın aşınmasından dolayı kesme kuvvetlerinin artacağı göz ardı edilmemelidir.

- Bir ısı kalkanı görevi gören TiAlN kaplama tabakasına sahip IC907 kesici takımında ise aşınma direnci daha düşük olduğundan kesme kuvvetinde bir artış olmamış dolayısıyla yüzey kalitesinde de çok belirgin bir değişme gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

AKKURT, M., MESTÇİ H., SEVİNÇ A., "Talaş Kaldırma Olayında Takım Aşınması, Takım Ömrü ve Kesme Hızı Faktörlerinin İncelenmesi", 6. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, s.224-231.

AKKURT, M., 1991, "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları" , Birsen Yayınevi, İstanbul, s.67-71.

AKKURT, M., 1985. "Takım Tezgahları, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi" , s.34.

ALPDORUK, D., 1997, "TiN Sert Seramik Kaplamanın Süreksiz Kesmede Kesici Takım Ömrüne Etkisi", International Metallurgy and Materials Congress. pp.351-356.

ANONİM 1994, Modern Metal Cutting, Sandvik Coromant, pp.123-135.

ANONİM 1999, IsoTurn IC907, ISCAR.

ANONİM 1998, TS 5882, "Biçim (Form) Sapmaları, Terimler ve Sınıflandırma Sistemi", TSE , s.125-132, Ankara

ASCOMBE, F.J.; J.W. TUKEY, 1963. "The Examination and Analysis of Residuals, Technometrics", 5:141-160.

BOOTHROYD, G., 1987. "Fundamentals of Metal Matching and Machine Tools", McGraw-Hill Book Comp., pp.187-213.

CHOUHDURY, S.K., APPA, RAO, I.V.K., 1998, "Optimization of Cutting Parameters for Maximizing Tool Life" , Machine Tools&Manufacture, pp.343-353.

CHOUHDURY, S. K., JAIN, V. K., RAMA RAO, CH. V., (1999) "On-Line Monitoring of Tool Wear in Turning Using a Neural Network", Int. J. Mach. Tools and Manufact., 39, 489-504.

COOK, R.D., S. WEISBERG, 1982. "Residuals and Influence in Regression", School of Statistics University of Minnesota. Newyork-London.

COX, D.R., E.J. SNELL, 1968. "A General Definition of Residuals", Journal / Royal Statistical Society". Serie, 30: 348-375.

ÇAKIR M.C, GÜRARDA A., "Optimization of Machining Conditions for Multi-Tool Milling Operations", INT. J. PROD. RES., 2000, VOL.38, NO. 15, 3537-3552

ÇAKIR, M.C., IŞIK, Y., 2001. "Tornalama İşlemlerinde Taylor Takım Ömrü Denklemine Deneysel Olarak İncelenmesi", Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi., Yıl 3, Sayı 3-4, s.130-140.

ÇAKIR, M.C., 1999. "Modern Talaşlı İmalat Esasları", Vipaş. Bursa.

ÇAKIR, M.C., 2000. "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", Vipaş. Bursa.

DAN, L., MATHEW, J., 1990. "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning" Int. J. Machine Tools Manufacturing, Vol.30, Nu.4 , pp.579-598.

DRAPER,N.R., H. SMİTH, 1981. "Applied Regression Analysis". 2.ed.,New York: John Wiley & Sons.

EHMANN, K.F., KAPOOR, S.G., DEVOR, R.E., LAZOĞLU,I., 1991. "Machining Process Modelling: AReview", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol.119.

ERIKSEN, E., 1999. "Influence From Production Parameters on the Surface Roughness of a Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic". *Int Journal of Machine Tools and Manufacture* 39, pp. 1611-1618.

FLORES, G., 1982, "Qualitaets Begriffe des Honens", *Werkstatt und Betrieb*, Heft 11, Seite 715-756.

GAMSIZ, E., 1999, "CNC Takım Tezgahlarında Hızlı Talaş Kaldırma Prosesinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi", İTÜ, Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi.

GERLING, H., 1969. "Laengen Prüftechnik in der Fertigung. Georg Westermann Verlag, Braunschweig", seite 143-157.

GOMAYEL, J. I. EL., BREGGER, K. D., (1986) On-Line Tool Wear Sensing for Turning Operations, *J. Enging. Ind.*, 108, 44-49.

GÜLYAZ, H., A., ABİŞEV, KILIÇ, S. E., 1996. "60HRC Sertliğindeki Karbonlu Çeliklerin CBN ile Taşlama Kalitesinde İnce Tornalanmasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmini İçin Model Oluşturulması", 7. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, ANKARA, S.213.

GÜRARDA A., ÇAKIR M.C., "Yüzey Pürüzlülüğünün Optimum Talaş Kaldırma Faktörleri ve Üretim Maliyeti Üzerindeki Etkisi", *Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, 14-15 Ekim 1999, Konya

ISCAR 2006, Seminer, "New Directions in Cutting Tool Materials and Machining Options"

ISO 3685, "Tool-life testing with single-point turning tools"

JEMIELNIAK, K., SZARFARCZYK, M., ZAWISTOWSKI, J., (1985), Difficulties in Tool Life Predicting when Turning with Variable Cutting Parameters, *Ann*,

CIRP, 34, 113-116.

JEONG-DU, K., IN-HYU, C., (1996) "Development of a Tool Failure Detection System Using Multi-sensors, *Int.Journal of Machine Tools and Manufacture*", 36, 861-870.

KANDEMİR, K, ÖZDEMİR, A., 1999, "Seramik kesici Uçlarla Tornalamada Taşlama Kalitesinde Yüzey Elde Edilme Şartları", *Teknoloji*, s.125.

KARAGÖZ, İ., 2001. "Sayısal Analiz ve Mühendislik Uygulamaları", *Vipaş*. Bursa. S.208-227.

KINNANDER, A., 1992, "Choice of Wear-Criteria in Fully Automated Turning" *Annals of CIRP*, vol 41, pp. 255-259.

KLEİNBAUM, D.G.; L.L. KUPPER, 1978. "Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods". University of North California, Massachusetts.

KOREN, Y., 1978, "Flank Wear Model of Cutting Tools Using Control Theory", *ASME J. Engineering For Industry*, Vol. 100, pp. 103-109.

KOREN, Y., ULSOY, A. G., DANAI, K., 1986, "Tool wear and Breakage Detection Using a Process Model", *Annals CIRP* 35 (1), pp.283.

LEVINE, D.M.; M.L. BERENSON, AND D. STEPHAN, 1997. *Statistics for Managers Using Microsoft Excel*. Prentice-Hall Press.

MERCHANT, M. E., 1945, "Mechanics of the Metal Cutting Process" *Journal of Apply. Phys.* Vol, 16, pp. 267-274.

MONTGOMERY D.C.; E.A. PECK, 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Willey and Sons, Inc. Canada.

MOON, K., S., SUTHERLAND, J. W., 1992, "The Origin and Interpretation of Spatial Frequencies in a Turned Surface Profile", ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol, 116., pp.340-346.

NAGASAKA, K., HASHIMOTO, F., 1982, " The Establishment of a Tool Life Equation Considering the Amount of Tool Wear", Wear 81, 21-31.

NALBANT, M., KORUCU, S., KORKUT, I., 1996, "Ç1030 ve Ç1060 Malzemelerinin Hidrolik Kopya Aparatı İle İşlenerek Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi", 7. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, ANKARA, sayfa 1999.

NEWTON , H.J.;J.H. CARROLL; N. WANG; D. WHİTING, 1996. Statistics 30x Class Notes. University of Leeds. U.K.

PEDHAZUR,E.J., 1997. "Multiple Regression in Behavioral Research. Explanation and Prediction" 3.ed. New York: Holt, Rinehart and Winston.

RONKAINEN, H., NIEMINEN I., HOLMBERG, K., 1991 "Evaluation of Some Titanium-based Ceramics Coatings on High Speed Steel Cutting Tools", Surface and Coating Technology, vol. 49, pp. 729-740.

RYAN, THOMAS P., 1996. "Modern Regression Analysis". John Willey and Sons, Inc. New York.

SAHİNLER,S.; BEK,Y., 1997. Regresyonda Etkili Gözlemlerin (Influential Observations) Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiklerin Karsilastirmali Olarak İncelenmesi. M.K.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi. 2(2);15-36. Antakya/HATAY

SAHİNLER,S.; BEK,Y., 1999. Regresyon Analizinde Birlikte Degisim (*collinearity*) Probleminin Belirlenmesinde Kullanılan İstatistiklerin Karsilastirmali Olarak İncelenmesi. 1. İstatistik Kongresi. 5-9 Mayıs. ANTALYA

SANTOS, DOS, A. I. B., DUARTE, A. V. M., ABRAO, A. M., MACHADO, R. A., 1999, "An Optimisation Procedure to Determine the Coefficients of the Extended Taylor's Equation in Machining", Int., Journal of Machine Tools Manufacture, Vol. 39., pp. 17-31.

SCHLESINGER, G., 1951, "Messung der Oberflaechengüte", Springer Verlag, Berlin.

STURESSON P.O.H., HAKANSSON L., CLAEISSON I., 1997, "Identification of statistical properties of cutting tool vibrations in a continuous turning operation- Correlation to structural properties", Mechanical Systems and Signal Processing 11 (3) s.459-489.

TRENT E.M., WRIGHT P.K., 2000 "Metal Cutting Fourth Edition", Butterworth Heinemann

ÜNÜVAR, A., SAĞLAM, H., (1999) Takım Aşınmasına Dayalı on Line Takım Durumu İzleme Sistemleri ve Verilerin Değerlendirilmesi, Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu, Konya, 27-39.

YAO, Y., FANG, X.D., 1992, "Modelling of Multi Variate Time Series for Tool Wear Estimation in Finish-Turning", International Journal Machining Tool Manufacturing, Cilt 4, Sayı 32, s.495-414.

YILMAZ, F., 1997, "Sürtünme ve Aşınma" Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, s.229-247.

YÜKSEL, M., UZUN, F., KÜÇÜKÖMEROĞLU, T., " Yüzey Kaplamada Etkili Bir Yöntem PVD.", Mühendis ve Makine 336

YOKOGAWA, K., 1974, "Einsfluss der Abricht und Schleifbedingungen auf die

Rauheit und Rundheit geschliffener Oberflaechen”, Werkstatt und Betrieb, Heft 9, Seite 513-525.

ZHOU, J., M., ANDERSON, M., STAHL J.E., 1997, “Cutting Tool Fracture Prediction and Strength Evaluation by Stres Identification, Part I: Stres Model”, Int. Journal of Machine Tool&Manufacture, Vol.37., pp.1691-1714.

ZOREV, N., 1996, “Metal Cutting Mechanics” , Pergamon Pres, pp.187-195.

www.cvdtechnologies.com / Web Sitesi

www.pvd-coatings.co.uk / Web Sitesi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kaynak temininde ve yol gösterme bakımından çok önemli yardımlarda ve katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR ve İnegöl Meslek Yüksek Okulu Müdürü Yrd. Doç. Dr. Yahya IŞIK 'a, bugünlere ulaşmamda büyük emekleri olan ve maddi manevi desteklerini esirgemeyen babam Osman DEMİRAYAK, annem Ayşe DEMİRAYAK ve kardeşim Caner DEMİRAYAK' a, deneylerin yapılması aşamasında yardımlarını esirgemeyen Kaan KIRCALI 'ya, tezin yazılması aşamasında manevi desteğini esirgemeyen bilgilerini paylaşan meslektaşım Cihat ENSARİOĞLU' na ve Makine Mühendisliği Bölümü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Mudanya 12 Eylül İlkokulu, Bursa Süleyman Çelebi Lisesi ve Bursa Erkek Lisesinde tamamladı. 1999 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenime hak kazandı. 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. Halen 2003 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.