

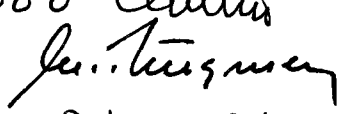
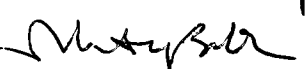
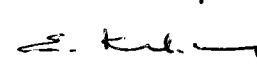
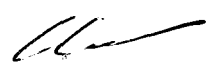
CNC TAKIM TEZGAHLARINDA HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN TEORİK
VE DENEYSEL İNCELEMESİ

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Erdal GAMSIZ
(503920025012)

100785

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Aralık 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Mayıs 2000

100785

Tez Danışmanı:	Prof. Dr. Mustafa AKKURT	12.06.2000	
Diğer Jüri Üyeleri	Prof. Dr. Murat DİNÇMEN (İ.T.Ü.)	7.6.2000	
	Prof. Dr. Oktay BODUR (İ.T.Ü.)	14.6.2000	
	Prof. Dr. Engin KILIÇ (O.D.T.Ü.)	9.6.2000	
	Prof. Dr. Cemal ÇAKIR (U.Ü.)	12.6.2000	

MAYIS 2000

ÖNSÖZ

Sanayi devrimi ile başlayan sanayileşme sürecinin son yarım yüzyılında, imalat alanında devrim niteliğini taşıyan bir oluşum olarak Nümerik Kontrol oluşumu meydana gelmiştir. Nümerik Kontrol, özellikle talaş kaldırma alanında her şeyi değiştirmiştir. Tezgahlar programlanabilen tertibatlar haline gelmiş, talaş kaldırma teknolojileri değişmiş ve yavaş, yavaş imalat yönetimi (operatörler, ustalar vb.) atölyelerden ofislere taşınmıştır.

CNC'lere dönüşen NC tezgahları, doğal gelişmelerini seyrederken 1990'lara doğru, hızlı talaş kaldırma, sert talaş kaldırma ve kuru talaş kaldırma hakkında deneme çalışmaları başlamış, bunlar iyi sonuçlar vermiş ve günümüzde günden, güne gelişen bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Hızlı talaş kaldırma, parça işleme zamanının ve ona direkt olarak bağlı olan parça maliyetinin azaltması çabaların bir sonucu olarak meydana gelmiştir. Ancak uygulamalar göstermiştir ki, hızlı talaş kaldırma yalnızca parça işleme zamanlarının azaltması ile kalmayıp, talaş kaldırma teknolojisini değiştiren bir unsur olarak ortaya çıkmış ve bu nedenle NC tezgahlarından sonra, talaş kaldırma alanında ikinci bir devrim olarak görülmeye başlanmıştır. Günümüzde talaş kaldırma yöntemi, yalnızca sanayileşmiş ülkelerde değil, Ülkemizde de sanayiinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Üstelik bu sanayi kolunda değer katma niteliği, diğer sanayi kollarına göre kat, kat daha yüksektir. Dolayısıyla bu yöntemin Ülkemizde kullanılması ve yaygınlaştırılması, üretim maliyeti tasarrufu sağlamakla beraber, sanayimizin Batı ülkelerdeki sanayi ile rekabet edecek seviyeye getirecektir.

Tezin konusu, hızlı talaş kaldırma ile ilgili olup, bu hususta frezeleme prosesinde takım aşınmasının incelenmesi esas alınmıştır. Tezle ilgili çalışmaların ve elde edilen sonuçların, hızlı talaş kaldırma yönteminin Türkiye'de rasyonel ve bilinçli bir şekilde kullanılmasına ve yaygınlaştırılmasına katkıda bulunacağına inanıyorum .

Bana tez çalışmalarında bilimsel bakımından büyük destek sağlayan ve akademik çalışma anlayışını kazandıran değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Akkurt 'a teşekkürü borç bilirim.

İstanbul, Mayıs 2000

Y. Müh. Erdal Gamsız

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	X
ÖZET	XII
SUMMARY	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. İmalatta Zaman Faktörünün Önemi	1
1.2. Takım Tezgah ve Takımlar Alanında Gelişmeler	5
1.3. Tezin Konusu	9
2. TALAŞ KALDIRMA TEORİSİNİN ESASLARI	11
2.1. Giriş	11
2.2. Talaş Kaldırma Prosesin İncelenmesi	11
2.3. Takım-Proses-Parça Bakımından Talaş Kaldırma Olayının İncelenmesi	24
2.3.1. Takım Aşınması	24
2.3.2. Takım Ömrü	28
2.3.3. Talaş Kaldırma Prosesinde Isı	31
3. HIZLI TALAŞ KALDIRMA SİSTEMİNİN ANALİZİ	34
3.1. Analiz Faktörleri	34
3.2. Hızlı Talaş Kaldırma Prosesinin Açıklanması Ve Avantajları	35
3.3. Takım Tezgah Analizi	39
3.4. Takım Analizi	47
3.4.1. Analiz Esasları	47
4. DENEY FAKTÖRLERİNİN TAYİNİ VE DENEY DÜZENİ	55
4.1. Deney Faktörlerinin Tayini	55
4.2. Frezeleme Prosesinin Analizi	56
5. DENEY FAKTÖRLERİN SEÇİMİ	74
5.1. Deneylerin Amacı	74
5.2. Deneylerde Kullanılan Tezgahın Özellikleri	74
5.3. Takım Malzemeleri ve Tipleri	75
5.3.1. Takım Malzemeleri	75
5.3.2. Takım Şekli ve Çapı	76
5.4. Deney Parçaları	77
5.4.1. Parça Malzemeleri	77
5.4.2. Deney Parçalarının Şekli	78
5.5. Talaş Kaldırma Koşulları	79
5.6. Deney Yöntemi	81

6. DENEY SONUÇLARI VE BUNLARIN İŞLENMESİ	84
6.1. Deney Sonuçları	84
7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ VE HIZLI TALAŞ KALDIRMA TEORİSİ	92
7.1. Aşınma Mekanizması ve Gelişmesi	92
7.2. Deneylerde Kullanılan Takım ve Parça Malzemelerinin Karşılaştırılması	95
7.3. Hızlı Talaş Kaldırmada Talaş kaldırma ve Aşınma Teorisi	101
7.4. Sonuç	105
8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	106
8.1. Değerlendirme Kriterleri	106
8.2. Aşınma-çalışma zamanı denklemleri	109
8.3. Aşınma Gelişmesinin Doğrusal Denklemleri	113
8.4. Ömür- Hız Denklemleri	121
8.5. Sonuçlar	126
9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	128
KAYNAKLAR	138
EKLER	144
ÖZGEÇMİŞ	151

KISALTMALAR

16 MnCr5	:Sementasyon çeliği;
42 CrMo4	:İslah çeliği;
CBN	:Kübik bor nitrid
CVD	:Kimyasal kaplama yöntemi (Chemical Vapor Deposition)
DIN	:Alman standardı
H13	:Takım çeliği (Amerikan standardına göre)
HSK	:Takımları konik ve alın yüzeyinden tutturma sistemi
HSS	:Hız çeliği
PCD	:Polikristalin elmas
PVD	:Fiziksel kaplama yöntemi (Physical Vapor Deposition)
SAE	:Amerikan standardı
SM	:Sert metal (sinterlenmiş karbür)
TaC	:Tantal karbürü
TiAlCN	:Titan alüminyum karbon nitrid
TiC	:Titan karbürü
TiCN	:Titan karbon nitrid
WC	:Wolfram karbürü
X40CrMoV51	:Takım çeliği (Alman standardına göre)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 :Araştırmacılara göre kesme açısının değeri	23
Tablo 5.1 :DIN standardına göre deney malzemelerin kimyasal bileşimleri ...	78
Tablo 5.2 :DIN standardına göre deney malzemelerin mekanik özellikleri ...	78
Tablo 5.3 :Takımın paso kalınlığına göre efektif çapı ve dönme hızları	80
Tablo 5.4 :Deney faktörleri	81
Tablo 6.1 :Takım CBN; parça malzemesi 42CrMo4	84
Tablo 6.2 :Takım CBN; parça malzemesi H13 kalıp çeliği	85
Tablo 6.3 :Takım CBN; parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği	85
Tablo 6.4 :Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama; parça malzemesi 42CrMo4	85
Tablo 6.5 :Takım : TiAlCN (dörtlü) kaplama; parça malzemesi H13 kalıp çeliği	85
Tablo 6.6 :Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama; parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği	86
Tablo 6.7 :Takım : TiCN üçlü kaplama; parça malzemesi 42CrMo4	86
Tablo 6.8 :Takım TiCN üçlü kaplama m ; parça malzemesi H13 kalıp Çeliği	86
Tablo 6.9 :Takım TiCN üçlü kaplama; parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği	86
Tablo 6.10 :Takım : SM-kaplamasız; parça malzemesi 42CrMo4	87
Tablo 6.11 :Takım: SM-kaplamasız; parça malzemesi H13 kalıp çeliği	87
Tablo 6.12 :Takım: SM-kaplamasız ; parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği	87
Tablo 7.1 :50CrMo4 çeliğine bağlı takım aşınmaları	98
Tablo 7.2 :90MnV8 kalıp çeliğine bağlı takımların aşınması	98
Tablo 7.3 :16MnCr5 sementasyon çeliğine bağlı takımların aşınması	98
Tablo 8.1 :Yeniden düzenlenmiş deney verileri	114
Tablo 8.2 :Orijinal ve düzeltilmiş denklemlerin karşılaştırılması	116

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 :İmalat amacına bağlı olarak talaş kaldırma alanında gelişmeler....	8
Şekil 2.1 :Talaşın oluşması.....	12
Şekil 2.2 :Talaş kaldırma modeli.....	12
Şekil 2.3 :Ortogonal kesme modeli	14
Şekil 2.4 :Ortogonal (a) ve eğik (b) kesme	14
Şekil 2.5 :Şekil değiştirmemiş ve şekil değiştirmiş metal tabakası	15
Şekil 2.6 :Talaş kaldırma prosesinde hızlar	17
Şekil 2.7 :Kesme düzlemi ve talaş açısı	17
Şekil 2.8 :Duraklama bölgesi	18
Şekil 2.9 :Duraklama ve akma bölgesi.....	18
Şekil 2.10:Talaş kaldırmada basınçlar	19
Şekil 2.11 :Kesme kuvvetleri	19
Şekil 2.12:Ortogonal kuvvet modeli	20
Şekil 2.13:Karşılaştırılmalı ince (a) düzlem ve kalın (b) bölge modelleri	22
Şekil 2.14:Ağz birikintisi	24
Şekil 2.15:Takım aşınma çeşitleri	26
Şekil 2.16:Aşınma yerleri	27
Şekil 2.17:Aşınma çeşitleri	27
Şekil 2.18:Kesme hızına bağlı takım ömrü	29
Şekil 2.19:Taylor bağıntısı	30
Şekil 2.20:Taylor bağıntısının sınırları	31
Şekil 2.21:Kesme ve ilerleme hızın sıcaklığın üzerine etkisi	31
Şekil 2.22:Talaş kaldırmada ısı iletimi	32
Şekil 2.23:Talaş kaldırmada sıcaklık dağılımı	33
Şekil 3.1 :Hızlı talaş kaldırmayı etkileyen faktörler	31
Şekil 3.2 :Tezgahların kesme (n) ve ilerleme (u) hızlarına bağı olarak sınıflandırılması.....	32
Şekil 3.3 :Yekpare mil (P=24 kW; n=24000 d/dak).....	39
Şekil 3.4 :Konvansiyonel ve yekpare iş mili sistemi	40
Şekil 3.5a:Doğrusal ve bilyalı cıvatalı motor sistemleri	40
Şekil 3.5b:Doğrusal motorların görüntüsü	41
Şekil 3.6 :Bilyalı cıvata modeli	42
Şekil 3.7 :İlmeleme değerlerin karşılaştırılması	43
Şekil 3.8 :Seramik bilyalı yataklar	45
Şekil 3.9 :Takım analiz faktörleri	47
Şekil 3.10:Takım malzemelerin gelişmesi	48
Şekil 3.11:Takım malzemelerinin özellikleri	50
Şekil 3.12:Takımların uygulama alanları	52
Şekil 3.13:Kaplama kıl bür takımların talaş kaldırma kabiliyetleri	53
Şekil 3.14:Takımların tutturma sistemleri	54
Şekil 4.1 :Frezeleme yöntemleri	57
Şekil 4.2a:Takım yüzeyleri	58
Şekil 4.2b:Takım açıları	58
Şekil 4.2c:Helisel freze	58
Şekil 4.3 :Alın frezede açılar	59

Şekil 4.4 :Alın takım (simulasyon)	60
Şekil 4.5a:Plaketin konum açıları	60
Şekil 4.5b:Plaketin konum açıları	60
Şekil 4.5c:Plaket konum açıları	61
Şekil 4.6a:Çift negatif geometri.....	61
Şekil 4.6b:Çift pozitif geometri	61
Şekil 4.6c:Pozitif-negatif geometri	61
Şekil 4.7 :Plaket çeşitleri	62
Şekil 4.8 :Kesme faktörleri	63
Şekil 4.9 :İlerlemeler	64
Şekil 4.10:Kesme derinliği	64
Şekil 4.11 :Çevresel frezelemede talaş kalınlığı	65
Şekil 4.12:Alın frezelemede talaş kalınlığı	65
Şekil 4.13:Alın frezelemede talaş genişliği	65
Şekil 4.14:Karşıt frezeleme yöntemi	68
Şekil 4.15:Aynı yön frezeleme yöntemi	69
Şekil 4.16:Simetrik frezeleme	69
Şekil 4.17:Simetrik olmayan alın frezeleme	69
Şekil 4.18:Frezelemede kesme kuvvetleri	70
Şekil 4.19:Frezeleme işleminin modeli	72
Şekil 4.20:Eksenel kuvvetler	73
Şekil 5.1 :Deneylerde kullanılan tezgah	75
Şekil 5.2 :Köşeleri yuvarlatılmış düz ve küresel parmak	76
Şekil 5.3 :Küresel parmak freze	76
Şekil 5.4 :Küresel frezelerde yüzey pürüzlüğü	77
Şekil 5.5 :Deney parçalarının hammadde ve işlenmiş şekilleri	79
Şekil 5.6 :Talaş kaldırma sırasında küresel parmak frezenin geometrisi.....	80
Şekil 5.7 :Deney parçalarının işleme yöntemi	81
Şekil 5.8 :Zamana bağlı aşınmanın ölçülmesi	82
Şekil 5.9 :Ortalama aşınma değerinin tayini	83
Şekil 6.1 :Takım CBN - parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri ..	88
Şekil 6.2 :Takım CBN - parça malzemesi H13 kalıp çeliği için aşınma Değerleri	88
Şekil 6.3 :Takım CBN - parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği için aşınma değerleri	88
Şekil 6.4 :Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri	89
Şekil 6.5 :Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi H13 kalıp çeliği için aşınma değerleri	89
Şekil 6.6 :Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi 16MnCr4 için aşınma değerleri	89
Şekil 6.7 :Takım TiCN kaplama- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma Değerleri	90
Şekil 6.8 :Takım TiCN kaplama- parça malzemesi H13 kalıp çeliği için aşınma değerleri	90
Şekil 6.9 :Takım TiCN kaplama- parça malzemesi 16MnCr5 için aşınma Değerleri	90

Şekil 6.10: Takım SM- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri	91
Şekil 6.11: Takım SM- parça malzemesi H13 kalıp çeliği için aşınma Değerleri	91
Şekil 6.12: Takım SM- parça malzemesi 16MnCr5 için aşınma değerleri	91
Şekil 7.1 : Sabit aşınma	93
Şekil 7.2 : Doğrusal aşınma	93
Şekil 7.3 : Aşınma çeşitler a- Sabit aşınma; b- Doğrusal aşınma	93
Şekil 7.4 : 50CrMo4 çeliğine bağlı takımların aşınması	98
Şekil 7.5 : Kalıp malzemesine bağlı takımların aşınması	98
Şekil 7.6 : 16MnCr5 malzemesine bağlı takımların aşınması	99
Şekil 7.7 : Talaşın oluşması	102
Şekil 7.8 : Kaplama tabakası	104
Şekil 8.1 : Taylor diyagramı	108
Şekil 8.2 : Doğrusal olmayan aşınmanın gelişme modeli	109
Şekil 8.3 : CBN-42CrMo4 için grafik ve denklemler	112
Şekil 8.4 : TiAlCN-42CrMo4 için grafik ve denklemler	113
Şekil 8.5 : Aşınmanın doğrusal modeli	113
Şekil 8.6 : Orijinal verilere göre TiAlCN-42CrMo4 için doğrusal denklemler..	114
Şekil 8.7 : Orijinal verilere göre TiAlCN-16MnCr5 için doğrusal denklemler..	115
Şekil 8.8 : Orijinal verilere göre TiAlCN-H13 için doğrusal denklemler	115
Şekil 8.9 : Düzeltilmiş verilere göre TiAlCN-H13 için doğrusal denklemler	115
Şekil 8.10: Düzeltilmiş verilere göre TiAlCN-16MnCr5 için doğrusal Denklemler	116
Şekil 8.11: Düzeltilmiş verilere göre TiAlCN-H13 için doğrusal denklemler	116
Şekil 8.12: CBN-42CrMo4 için düzeltilmiş diyagram ve denklemleri	117
Şekil 8.13: TiCN-42CrMo4 için düzeltilmiş diyagram ve denklemleri	117
Şekil 8.14: SM-42CrMo4 için düzeltilmiş diyagram ve denklemleri	118
Şekil 8.15: Hız-ömür diyagramını elde etme yöntemi	122
Şekil 8.16: CBN-16MnCr5 için Hız-ömür diyagramı	122
Şekil 8.17: TiAlCN-16MnCr5 için Hız-ömür diyagramı	123
Şekil 8.18: TiAlCN-42CrMo4 için Hız-ömür diyagramı	124
Şekil 8.19: TiAlCN-116MnCr5 için Hız-ömür diyagramı	124
Şekil 8.20: SM-H13 için Hız-ömür diyagramı	125
Şekil 8.21: CBN-42CrMo4 için Hız-ömür diyagramı	125

SEMBOL LİSTESİ

A_s	: Talaş kesiti
a	: Paso kalınlığı
B	: Talaş genişliği (mm);
C	: 1 dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızı (Taylor sabitesi)
C_0	: Keme koşullarına bağlı sabite
c_0	: Özgül ısı
D	: Parça çapı
d	: Takımın çapı d
d_{ef}	: Takımın efektif çapı
F_a	: İlerleme veya aksenal kuvvet
F_a	: Aksenal kuvvet
F_b	: Basınç kuvveti
F_c	: Merkezkaç kuvveti
F_f	: Sürtünme kuvveti;
F_k	: Makaslama kuvveti
F_n	: Normal kuvvet
F_r	: Radyal kuvvet ve
F_{rz}	: Frezelemede radyal veya pasif kuvvet
F_s	: Kesme kuvveti,
F_{sz}	: Frezelemede kesme kuvveti,
F_{vz}	: Frezelemede ilerleme kuvveti
F_z	: Talaş kaldırma kuvveti
F_{zz}	: Frezelemede talaş kaldırma kuvveti
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Şekil değiştirmemiş tabakanın kalınlığı
h'	: Şekil-değiştirmiş talaş kalınlığı
h_m	: Ortalama talaş kalınlığı
h_m	: Ortalama talaş kalınlığı
h_{maks}	: Maksimum talaş kalınlığı
I_{d1}	: Motor mili üzerinde bulunan dişlinin eylemsizlik momenti
I_{rc}	: Cıvatanın motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti
I_{rd3}	: Cıvata mili üzerinde bulunan dişlinin indirgenmiş eylemsizlik momenti;
I_{rd3}	: Cıvata milindeki dişlinin motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti
I_{rk}	: Kızağın motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti
K	: Takım sabitesi
KB	: Talaş yüzeyindeki krater genişliği
KL	: Krater kenarından uca kadar olan uzaklık
KM	: Krater aşınmasında orta kısmından uca kadar olan uzaklık
$K_{plş}$	: Parça işleme maliyeti
K_{ptr}	: Parça depo-taşıma-kontrol maliyeti
k_s	: Birim kesme kuvveti
k_{s11}	: Özgül birim kuvveti
L	: İşlenen yüzeyin uzunluğu
L	: Şekil değiştirmemiş tabakanın uzunluğu
l'	: Şekil değiştirmiş talaşın uzunluğu
m	: Kütle

n	: Dönme kesme hızı
r	: Takım ucunun yarıçapı
R	: Takımın yarıçapı
R_{ef}	: Takımın efektif yarıçapı
s	: Devir başına ilerleme
s_z	: Diş başına ilerleme
T	: Takım ömrü (dak);
t	: Çalışma zamanı
u	: İlerleme hızı
v	: Kesme hızı (m/dak)
VB_α	: Serbest yüzeyde aşınma yüksekliği
VB_m	: Ortalama aşınma
VB_{maks}	: Maksimum aşınma
X	: CNC tezgahlarda x eksen
Y	: CNC tezgahlarda y eksen
Z	: CNC tezgahlarda z eksen
z	: Freze takımının diş (kesme ağzı) sayısı
θ	: Kesme açısı
β	: Kama açısı
λ	: Talaş açısı, helis açısı, malzemesinin ısı iletim katsayısı
α	: Serbest açı (°)
χ	: Yerleştirme açısına
ω	: Açısal hız
δ	: Sıcaklık farkı
ρ	: Sürtünme açısı
γ_0	: Efektif talaş açısı
γ_e	: Efektif talaş açısı bulunur.
α_n	: Normal düzlemde serbest açısı
β_n	: Normal düzlemde kama açısı
λ_n	: Normal düzlemde talaş açısı
λ_s	: Talaş kalınlıkları oranı, eğim açısı

CNC TAKIM TEZGAHLARINDA HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Tezin konusu, talaş kaldırma alanında son yıllarda meydana gelen ve günden güne gelişen, hızlı talaş kaldırma, sert talaş kaldırma ve kuru talaş kaldırma olarak adlandırılan, yeni talaş kaldırma yöntemleri ile ilgilidir. “CNC TAKIM TEZGAHLARINDA HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ” başlığını taşıyan tezde, talaş kaldırma prosesi olarak frezeleme seçilmiş ve bu prosesin incelenmesi takım aşınması ve takım ömrü esaslarına göre yapılmıştır.

Giriş bölümünde, talaş kaldırma işlemindeki işleme zamanının ve işleme maliyetinin azaltılmasına bağlı olarak, hızlı talaş kaldırmanın gerekliliği üzerinde durulmuş ve tez konusunun seçim nedenleri açıklanmıştır. Bölüm 2 'de literatürde verilen bilgilere dayanarak talaş kaldırma prosesi ve tezde incelenecek bir faktör olan takım aşınması incelenmiş, ayrıca takımın abrazyon, difüzyon , oksidasyon , yorulma ve adezyon gibi aşınmalara maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bunların arasından takım aşınmasında en etkili olan adezyon ve daha sonra abrazyon aşınması ile ilgili standart niteliği taşıyan ölçme sistemleri bulunmuştur. Bu ölçme sistemine göre serbest yüzey aşınması VB, krater aşınması ise KT ile gösterilmiştir. Aşınma ile ilgili takım ömrü üzerinde durulmuş ve takım ömrü; takımın kesme ucunda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar geçen süre zarfındaki talaş kaldırma zamanı olarak ifade edilmiştir. Aşınma-takım ömrü ilişkisi teorik olarak incelenmiş ve bu ilişkiyi ifade edilen bağıntılar verilmiştir.

Bölüm 3 'de, yeni bir oluşum olan hızlı talaş kaldırma, literatürde verilen bilgilere göre ele alınmış, bu oluşumun proses-tezgah-takım entegrasyonu şeklinde geliştiği gösterilmiştir. Proses bakımından çeşitli görüşlere karşın, hızlı talaş kaldırma; ilerleme hızının, kesme hızının, takım ve parça değiştirme zamanının ve tezgah dinamiğinin, bugüne kadar alışılmış değerlerin çok üstünde (5...10 misli) kontrolüne imkan veren bir talaş kaldırma prosesi olarak ifade edilmiştir. Hızlı talaş kaldırma olayının avantajları ve dezavantajları verildikten sonra, tezgahların analizine

geçilmiş ve bunların yeni konstrüksiyona sahip tezgah tipleri olduğu gösterilmiştir. Bu konstrüksiyonun esasını doğrusal motorlar, yekpare iş milleri, çok rijid gövde yapıları ve hibrid (seramik bilyalı) yataklar ve kızaklar oluşturmaktadır. Ayrıca bu tip tezgahlar yeni ve hızlı talaş kaldırmaya uygun CNC kontrol ünitesi ile donatılmıştır. Bunun yanı sıra hızlı talaş kaldırma yönteminin meydana gelmesinde; seramik, sermet, kübik bor nitrür (CBN) ve özellikle kaplanmış takımların geliştirilmesinin büyük rol oynadığı gösterilmiştir.

Tezde incelenen talaş kaldırma prosesi frezeleme olduğundan, Bölüm 4 'de literatüre dayanarak frezeleme hakkında en son bilgiler verilmiştir. Bu hususta fiziksel ve analitik bakımdan frezeleme prosesinin analizi yapılmış, frezeleme işleminin başlıca özelliklerinin; yüksek talaş kaldırma hacmi, iyi bir doğruluk ve yüzey kalitesi ve şekil esnekliği olduğu açıklanmıştır. Buna göre frezeleme ile çok çeşit ve karmaşık geometrik yüzeylere sahip parçaların işlendiği gösterilmiştir. Ayrıca bu işlemde kullanılan takma uçlu takımların geometrisi üzerinde durulmuş ve prosesin kesme koşulları ele alınmıştır. Burada en önemli özellik olarak frezelemede talaş kalınlığının değişken olduğu gösterilmiş ve buna göre kesme faktörleri ve talaş kaldırma kuvvetleri teorik ve analitik olarak incelenmiştir.

Deney faktörlerinin seçiminin açıklandığı Bölüm 5'te; tezgah olarak özellikle kalıp imalatı için tasarlanmış, üç eksenli, yüksek bir rijitliğe ve dinamik stabiliteye sahip SUPERMAX YCM-V105A işleme merkezi seçilmiştir. Takım olarak: CBN, TiAlCN ve TiCN kaplı kobalt esaslı karbür ve ayrıca kaplanmamış SM olmak üzere dört değişik takım malzemesi ile donatılmış, çapı 12 mm olan küresel parmak freze kullanılmıştır. İş parçası malzemesi olarak 42 CrMo4, 16 MnCr5 ve X 40 CrMoV 5 1 (SAE H13) çelikleri seçilmiş ve tüm malzemeler $RC=40\pm 2$ 'ye kadar sertleştirilmiştir. Kesme hızları için $v= 125; 225; 325$ ve 400 m/dak değerleri; ilerleme için $s=0,2$ mm/dev ve paso kalınlığı için $a=1,5$ mm seçilmiştir. Deney yöntemine gelince, işleme sırasında $t= 4; 6; 10; 16; 20; 24; 31; 41; 50$ dakikaların sonunda işlem durdurulmuş, takım aşınması incelenmiş ve aşınma değerleri mikroskopla ölçülmüştür. Ölçülen aşınma değerleri, takımlara göre gruplandırılmış tablo ve diyagram şeklinde verilmiştir (Bölüm 6).

Deney sonuçlarının irdelenmesi yapılan Bölüm 7'de; deney sırasında takımların incelenmesi neticesinde, kesmenin ilk kademesindeki takım aşınmasının, kesme hızının maksimum olduğu yerde başladığı görülmüştür. Daha sonra kesmenin

ilerlemesi ile, takımın iş parçasına teması boyunca düzgün bir takım aşınması meydana geldiği gösterilmiştir.

Tüm deneylerde aşınma adezyon aşınması şeklinde olmuş, krater tipi aşınma görülmemiş ve tüm takımlarda aşınma serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Tablo ve diyagramların incelenmesinden, iki tip aşınma meydana geldiği görülmüştür. Normal (sabit) aşınma denilen birinci aşınma modelinde, hızlı bir büyümeden sonra aşınma sabit kalmakta ve belirli bir zamandan sonra hızlı bir büyüme göstermektedir. Doğrusal aşınma denilen ikincisinde ise ilk andaki hızlı büyümeden sonra aşınma sürekli büyümektedir. Bu iki tip aşınma, aşınmanın yüzey kalitesi kriterine göre karşılaştırılmış ve şu sonuca varılmıştır: Sabit aşınmada, takım aşınması uzun bir süre sabit kaldığı için yüzey kalitesi aynı kalmaktadır; ancak aşınmanın büyümeye başladığı andan itibaren yüzey kalitesinin kötüleştiği görülmüştür. Doğrusal aşınmada, aşınma sürekli büyüdüğü için, parçanın yüzey kalitesi sabit kalmayıp gittikçe kötüleşmektedir.

Deneylerde kullanılan takım ve iş parçası malzemelerinin karşılaştırılması, aşınmanın gelişme tipine, sabit aşınma zamanına ve aşınma doğrusunun eğimine göre yapılmıştır. Bu bakımdan, gelişme tipine göre deneylerde kullanılan tüm takımlarda, iş parçası malzemesinin sertliği yükseldikçe, sabit bir aşınma tipinden doğrusal bir aşınma tipine geçildiği görülmüştür. Bununla beraber her malzeme için, kesme hızı arttıkça aşınma gelişme tipi, sabit aşınmadan doğrusal aşınmaya doğru yönelmekte ve $v=400$ m/dak kesme hızında, aşınma doğrusal veya doğrusala çok yakın olmaktadır. Takımlar arası en iyi davranışı CBN takımı göstermiş, onu TiAlCN kaplı sert takım malzemesi izlemiş, üçüncü sırada TiCN ile kaplı sert takım malzemesi yer almış ve kaplamasız sert malzeme takımı ise en kötü davranışı göstermiştir. Ayrıca sert malzeme esasına dayanan takımların benzer gelişme gösterdikleri ve CBN takımının gösterdiği davranıştan farklı olduğu gözlenmiştir. Buradan talaş kaldırma prosesinde takımın ana malzemesinin esas önemli olduğu, kaplamaların ise yalnızca prosesi iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Kesme hızının etkisi; hem aşınma değerlerini, hem de aşınmanın gelişme tipini etkilemektedir. Doğal olarak kesme hızı arttıkça aynı çalışma zamanı için, aşınma değerleri artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Fakat ilginç olanı kesme hızının aşınmanın gelişme şeklini etkilemesidir. Hızın etkisi bakımından CBN ve sert metal takımlar arasında belirgin bir fark görülmektedir. Kesme hızlarının büyümesi ile ; CBN takımında aşınmalar yaklaşık orantılı olarak büyümektedir. Yani aşınmanın gelişmesi ne olursa olsun, çeşitli hızları temsil eden eğriler arasında açık bir fark

yoktur. Sert metal takımlarda ise, $v=400$ m/dak ile diğer hızlar arasında açık bir fark vardır. Bu grupların arasında en küçük fark TiAlCN kaplı takıma aittir. Bu gözlemlerden çıkan sonuca göre, takım malzemesi kesme hızı sınırına yaklaştığında hızların orantılı bir şekilde büyümesine karşın, aşınma değerleri aşırı derecede büyümektedir.

Değerlere göre karşılaştırmada en iyi davranışı sırasıyla CBN, TiAlCN kaplamalı sert metal, TiCN ile kaplı sert metal ve kaplamasız sert metal takımı göstermiştir. Bu hususta verilen diyagramların incelenmesinden, üç takım grubu olduğu görülmüştür. Tüm deney koşullarında, birinci grupta CBN, ikincide yakın değerlere sahip TiAlCN ve TiCN kaplı sert metal ve üçüncü grupta kaplamasız sert metal yer almıştır.

Yapılan deneyler ve bu deney sonuçlarının incelenmesine dayanarak hızlı talaş kaldırmada talaş kaldırma ve aşınma ile ilgili şu teori öne sürülebilir: Hızlı talaş kaldırmayı olumsuz etkileyen iki önemli faktör vardır. Birincisi ısı oluşumu ve ona bağlı olan sıcaklık, ikincisi dinamik stabilitedir. Dinamik stabilite bu tezin inceleme alanı dışındadır. Bu çalışmada talaş kaldırma prosesine bağlı sıcaklık ele alınmıştır. Sıcaklığın takıma olan etkisi iki yönde olmaktadır. Birincisi takım aşınmasına ortam yaratmakta ve ikincisi ise termal şoklar meydana getirmektedir. Talaş kaldırma proses esaslarının incelendiği Bölüm 2'de gösterildiği gibi, talaş kaldırma sırasında; takım gerek iş parçası, gerekse talaş ile sürekli olarak temasta bulunmaktadır. Bu temas yüzeylerinde yüksek basınçlar; aşırı sürtünme; takımın kesme ağzına doğru yüksek mekanik ve termik gerilmeler; kimyasal aktivite, yüksek ısı ve sıcaklık ve ayrıca termal şoklar gibi olaylar meydana gelmektedir. Eğer takım ile temas ettiği yüzeyler arasına, bu aşınma olaylarının çoğunu veya hepsini azaltan veya bertaraf eden, tıpkı yağlamada olduğu gibi, bir ara malzeme konulursa o zaman çok yüksek hızlarda ve çok sert malzemelerden talaş kaldırma mümkün olabilir. Takımlara uygulanan kaplamalar esasen bu ara malzeme rolünü oynamaktadır. Kaplamalar sürtünmeyi azaltan bir yağlayıcı madde, ısıyı ve termal şoklara karşı bir engel (baraj) oluşturan ve kimyasal aktiviteyi ve talaşın yapışmasını önleyen bir ara malzeme gibi davranmaktadır. Talaş kaldırma prosesi esasen takımın ana malzemesine bağlıdır; kaplama malzemeleri ise iş parçası ile takımın arasında yukarıdaki olayları bertaraf eden, önleyen veya azaltan yalnızca bir ara malzemedir.

Bölüm 2.7'de deney sonuçlarının analitik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Analitik değerlendirme en küçük kareler yöntemine dayanan regresyon analizine

göre yapılmış ve aşınma-çalışma zamanı ($VB_m=f(t)$) ve Taylor denklemi ($T=f(v)$) olmak üzere iki denklem grubu şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Aşınma-çalışma zamanı denklemleri $VB_m=f(t)$; deney sonuçlarının verildiği Bölüm 6'daki tablo ve diyagramlara dayanarak yapılmıştır. Doğrusal bir aşınma gelişmesi göstermeyen takım-parça malzemesi çifti için, yapılan bir çok regresyon denemelerden sonra en uygun denklem, örneğin CBN-42CrMo4 ($v=125$ m/dak) için;

$$VB_m=2E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 9E-05.t^3 - 0,0018.t^2 + 0,021.t - 0,0004$$

şeklinde beşinci derecede polinom olduğu görülmüştür. Ayrıca bazı hallerde özellikle $v=400$ m/dak'a için $VB_m= a.t + b$ şeklinde doğrusal denklemler de elde edilmiştir. Bununla beraber doğrusal olmayan beşinci dereceli polinomlar incelendiğinde, tüm haller için polinom katsayılarının çok küçük değerlere sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca beşinci derecedeki bir denklemin pratikte kullanılması çok zor olduğu hususu da dikkate alınarak, bu aşınma şeklinin doğrusal bir şekilde temsil edilmesinin maksada daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Aşınma gelişme denklemlerinin doğrusal şeklinde ifade edilmesi için iki yol seçilmiştir. Birincisinde deney noktalarının tümü muhafaza edilerek doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. İkincisinde ise, aşınmanın başlangıç ve çabuk aşınmanın başladığı son kısmı ihmal edilmiş ve yalnızca normal aşınma kısmı dikkate alınarak regresyon analizi uygulanmıştır. Birinci yöntemle orijinal, ikincisine ise düzeltilmiş denilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen denklem ve grafiklerin uyumluluk dereceleri karşılaştırılmış ve düzeltilmiş yöntemde elde edilen denklemlerin uyumluluk dereceleri çok iyi denilebilecek (genelde %99'ün üstünde) ölçüde çıkmıştır. Bu sonuca göre deney değerlerinin denklemlerinin, düzeltilmiş yöntemle göre verilmesi kararlaştırılmıştır ve bu denklemler örneğin CBN-42 CrMo4 ($v=225$ m/dak) için

$$VB_m= 0,0024.t + 0,0924$$

şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca bu denklemlerin diyagramları da çizilmiştir.

Hız-ömür $T=f(v)$ denklemlerini elde etmek için izin verilen aşınma değeri $VB_{kr}=0,3$ mm olarak seçilmiştir. Bu değerle örneğin

$$T= -0,094.v + 63,30$$

şeklinde aşınma-çalışma zamanı denklemlerinden, her takım-iş parçası malzemesi için hız-ömür denklemleri bulunmuştur.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH SPEED MACHINING PROCESS IN CNC MACHINE TOOLS.

SUMMARY

The subject of this thesis is related with the new machining techniques those have been developing during the last decade mainly as; high speed machining, hard material machining and dry machining. The title of the thesis was established as "THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH SPEED MACHINING PROCESS IN CNC MACHINE TOOLS". The milling operation has been chosen as machining process and the study was performed according to the principles of tool wear and tool life.

In the introduction chapter, depending on the machining time and machining cost reduction in machining operation, it has been emphasized on the requisite of high speed machining; and the reasons for the selection of the thesis subject were explained. In the subsequent chapter 2, based on the knowledge which is given in the literature, the chip removal process and tool wear in which an important factor to be studied in the thesis have been examined. In addition to this, it has been established that the tool is exposed to abrasion, diffusion, oxidation, fatigue and adhesion type of wears. Among these affluence primarily and secondarily most effective tool wears have been fixed as adhesion and abrasion and their related measuring systems have been found as the standard characteristic. According to this measuring system flank wear is denoted as VB and cratering as KT. It has been pointed out on the tool life related with wear and tool life has been taken as the machining time until permissible tool wear has been occurred at the cutting edge of the tool. Tool wear versus tool life relation have been theoretically studied and some correlation representing these relations have been given.

In chapter 3, as a new understanding the high speed machining has been taken in the conformity with the literature and this approaches development has been proved as process - machine tool - tool integration. From the process point of view against various high speed machining has been expressed as chip removal process which enables to control feed-rate, cutting speed, tool and work-piece change time and

machine tool dynamics as high as 5 to 10 times as of conventional values. On the other hand, reduction of tool change and work-piece change time and machine tool dynamics have been improved. After having been given the advantages and disadvantages of high speed machining, it has been mentioned the analysis of milling machine and it has been shown that these machinery are of new type. The general character of this new construction inherits linear motors, single spindles, high rigidity body structures and hybrid (ceramic) bearings and guide-ways. In addition to these, in high speed machining process the machine tools those have the above mentioned type of construction are equipped with a new speedy CNC control unit. Besides it has been determined that the ceramic, sermet cubic bor nitride (CBN) and especially coated tools development are very important for the high speed machining method.

Since milling is the chip removal process studied in this thesis, the current information about milling process has been given based on the literature in chapter 4. At this point, the milling process is analyzed physically and analytically and it has been emphasized that the main characteristics of milling operation are; the volume of high chip removal, a good accuracy and surface quality and shape flexibility. According to these it is shown that, by the milling process, production of various work-piece and complex geometrical surfaces are possible. Besides, it has been looked through on the geometry of indexable tools used in this operation and the conditions of cutting of the process have been handled. At this point the most important feature in milling, the chip thickness has been shown as a variable and according to this, the cutting factors and chip removal forces have been studied theoretically and analytically.

As the selection of experimental factors have been explained in chapter 5, a machine tool which is specially equipped for the production of mould, and that has three axis, high rigidity and dynamic stability called "SUPERMAX YCM-V105A CNC Machining Center" has been chosen. The machine tool was equipped with four different tool materials as CBN, TiAlCN and TiCN coated cobalt based carbur and also uncoated SM. A ball nose endmill with diameter of 12 mm was used. As a work piece materials 42 CrMo4, 16 MnCr5 and X 40 CrMoV 5 1 (SAE H13) were selected and all the materials were hardened to 40 ± 2 HRC by the heat treatment. The cutting conditions for the machining operation chosen were as follows. For the cutting speed $v=125, 225, 325$ and 400 m/min, for the feed-rate $s=0,2$ mm/rev and for depth of cut $a=1,5$ mm were applied. The experimental method was performed as; the

machining operation was stopped at the end of $t = 4, 6, 10, 16, 20, 24, 31, 41, 50$ minutes and tool wear was studied and its values were measured by microscope. The measured wear values were classified according to tools and the results were given in the table and diagram (Chapter 6)

As the result of the experiments have been searched in chapter 7, from the study of tools during the experiment, it has been searched that the tool wear started where the cutting speed is maximum. After then while cutting action is continuing it has been shown that a uniform tool wear was formed throughout the contact region between the work-piece and tool. The wear occurred as adhesion type of wear within all experiments. Cratering hasn't been found and all tool wears occurred at the flank surface. After the examination of the tables and diagrams, it has been seen that two types of wears occurred. At the first, wear model called normal (constant) wear, after a fast increase the wear remained constant and it showed a fast increase again after a period of time. At the second, wear model called linear wear, the wear continued to increase after a fast increase at the beginning. These two types of wear have been compared as to the criteria of the surface quality and it has been concluded as; in the constant wear case, no damage on the work-piece surface was seen because the tool wear remained constant for a long period of time, but while the wear started to increase the surface quality got worst. In the linear wear case, it has been experienced that as the wear increased continuously, the surface quality of the work-piece was damaged increasingly.

The materials of tools and work-pieces used in the experiments have been compared as the wear development type, constant wear time and slope of wear line. Therefore, in all the tools those have been used in experiments according to wear development type, when the hardness of the work-piece increases a transition is obtained from constant wear to linear wear. In addition to this, for all the materials, as the cutting speed has increased wear development type was changed from constant to linear and it became linear or so close to linear at the cutting speed $v=400$ m/min. Among the tools, CBN has indicated the best behavior. It has been followed by TiAlCN coated hard metal. In the third place, TiCN coated hard metal and uncoated hard metal indicated the worst behavior. Besides, the tools based on hard metal has shown similar development type and they had different behaviors than CBN tools. From these observations it has been concluded that the most important thing is the base materials of the tool and coatings only improve the chip removal (machining) process.

The cutting speed affects both the wear values and the wear development type. Naturally when the cutting speed increases the wear values also increase for the same run time. This is an expected result. The interesting point is; cutting speed affects the wear development type. It is obtained that there has been an evident difference between CBN and hard metal tools with regard to cutting speed effect. While cutting speed increases the wear on CBN tool seems to be increasing proportionally. In other words, whatever the development of the tool wear is like there is no obvious difference between the curves representing various cutting speeds. In the hard metal tools there is an evident difference between $V=400$ m/min. and other cutting speeds. Between those groups, the least difference is at TiAlCN coated tool. The result that has been obtained from these observations is; when the tool materials approaches to the cutting speed limit, although the speeds increase proportionally, the wear values increase extremely.

According to the comparison of data, the following tool materials have been shown the best characteristics respectively; CBN coated hard metal, TiAlCN coated hard metal, TiCN coated hard metal and uncoated hard metal. By carefully studying of the diagrams three tool groups can be classified. In all experiment conditions, first group is CBN, second TiAlCN and TiCN coated hard metal those have close values to CBN and third group is uncoated hard metal.

Depending on the realized experiments and examinations on the experiment results, a theory have been proposed related to the chip removal and tool wear in high speed machining. There are two limitations for high speed machining. First one is heat generation and second one is dynamic stability. Dynamic stability is out of the subject of this thesis. In this thesis heat generation has been taken into account for the chip removal (machining) process. The effect of the heat to the tool is in two ways. First, it leads to tool wearing and second it causes thermal shocks. As the basic requisites of the machining process has been examined in chapter 2, during the chip removal the tool on one hand is in contact with work-piece and the chip. In these contact surfaces, high pressures, over friction, high mechanical and thermal stresses towards the cutting edge of the tool, chemical activity, high temperatures and thermal shocks have been occurred. If it is possible to put a material, as in lubrication, between the tool and contact surfaces, so as to these abrasion creating events can be reduced or completely erased, then at very high speeds and hard materials chip removal can be done. Coatings applied on the tools act as an intermediate material. Coating react as; a lubricating material that lessens the friction, an obstacle against thermal shocks and an intermediate material that

prevents the chemical activity and chip build up edge. Therefore the chip removal process depends on mainly the base material of the tool.

The results of experiments was studied analytically in the chapter 8. The analytical evaluation was made according to regression analysis based on the smallest square method and it was realized as two equation groups which are wear-run time ($VB_m=f(t)$) and Taylor equation ($T=f(v)$).

Based on the tables and diagrams in chapter 6, wear run-time equations $VB_m=f(t)$ are for the tool-workpiece couple that do not indicate a linear wear development, after the various regression tests, the most suitable equation, for example as CBN-42CrMo4 ($v=125$ m/min) ;

$$VB_m = 2E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 9E-05.t^3 - 0,0018.t^2 + 0,021.t - 0,0004$$

defined as 5th degree polynomial. Furthermore, we can get a linear equation of $VB_m = a.t + b$ for a specific case for the speed of $v=400$ m/min. However, if we study the 5th degree non-linear polynomials, we will see that all the coefficients of polynomial has small values. Taken into consideration the difficulty of practical use of an equation of 5th order, it has been stated that the representation of this wear made in a linear way would be more convenient. In order to express the equations of wear development types in a linear form two ways have been chosen. In the first linear regression has been applied conserving the whole experiment points. In the second the initiating portion of wear and fast wearing section has been omitted and normal wear portion taken into consideration and again the regression analysis is applied into account. The first method is named as "original" and the second "corrected". The conformity degrees of equations and graphics obtained in both methods are compared and the equation obtained in correct form the conformity degrees have been found highly satisfactory (in general over 99 %). Having such a good result, it has been decided to give the equations of experimental values and corrected method and these equations for CBN-42 CrMo4 ($v=225$ m/min.)

$$VB_m = 0,0024.t + 0,0924$$

has been shown and diagrammed.

To obtain speed-life $T=f(v)$ equation, permissible wear ratio VB_{kr} has been chosen as 0,3 mm and using this ratio in wear-run time equations, for example

$$T = -0,094.v + 63,30$$

thus, we obtain speed-life equation for each tool-workpiece material.

1. GİRİŞ

1.1 İMALATTA ZAMAN FAKTÖRÜNÜN ÖNEMİ

İmalat yöntemleri ve sistemleri, teknolojik ve ekonomik olmak üzere iki faktöre göre değerlendirilir. Teknolojik faktör prodüktivite ve kalite; ekonomik faktör ise ürün veya parçanın imalat maliyeti ile ilgilidir. Kalite bir tarafa bırakılırsa gerek prodüktiviteyi, gerekse imalat maliyetini belirleyen en önemli faktör zamandır. Talaş kaldırma alanı ele alınırsa prodüktivite, birim zamanında kaldırılan talaş hacmi veya işlenen parça sayısı olarak ifade edilebilir. Buna göre: a-paso kalınlığı (mm); b- talaş genişliği (mm); u- ilerleme hızı (mm/dak) olarak ifade edilirse prodüktiviteyi temsil eden birim zamanında kaldırılan talaş hacmi [1]

$$V = a.b.u \text{ [mm}^3\text{/dak]} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan görüldüğü gibi ilerleme hızı ne kadar daha büyük olursa, birim zamanında kaldırılan talaş hacmi ve dolayısıyla prodüktivite de o kadar yüksek olur.

İmalat maliyetine gelince burada şu hususları hatırlamakta yarar vardır. Bir parçanın talaş kaldırma imalatı; çeşitli tezgahlarda gerçekleştirilen ardışık proses, işlem ve operasyonlardan meydana gelmektedir. Proses bir tezgahta yapılan örneğin tornalama, frezeleme gibi talaş kaldırma işlemidir. İşlem bir tezgahta ve bir tutturmada gerçekleştirilen örneğin alın tornalama, boyuna tornalama, pah kırma, delik delme, vida açma gibi talaş kaldırma işlemlerin toplamıdır. Operasyon ise işlemin bir parçası olup kesme koşulları (kesme hızı, paso kalınlığı ve ilerleme), kesme takımları ve kesme yüzeyi değiştirilmeden örneğin kaba paso, ince paso gibi işlemlerdir. İşlemler arası parça depo edilebilir, bir tezgahtan başka tezgaha taşınabilir veya kontrol edilebilir.

Buna göre bir parçanın hammadde halinden; çeşitli proses, işlem ve operasyonlara tabi tutularak bitmiş parça haline gelinceye kadar geçen zamana imalat zamanı denilir. Bununla beraber bir tezgahta parçanın işlenmesi için harcanan zamana işleme zamanı denilir ve bu zaman imalat zamanının bir kısmını oluşturur. Diğer taraftan parçanın depo edilmesi, tezgahdan tezgaha taşınması, kontrol edilmesi için harcanan zaman dikkate alınır ve bu zaman T_{ptr} olarak gösterilirse, parça başına imalat zamanı [1-3]

$$T_{pim} = \sum_{i=1}^{n_z} (T_{i\text{iş}} + T_{ptr}) \quad (1.2)$$

olarak ifade edilir. Burada: $T_{i\text{iş}}$ - parçanın işleme zamanı; n_z - işlem veya tezgah sayısıdır.

İşleme zamanı; ayarlama zamanı (t_a), esas işleme zamanı (t_h), yardımcı işleme zamanı (t_{hy}) ve takım değiştirme (t_w) zamanından meydana gelmektedir. Ayarlama zamanı; parça işlenmeden önce tezgah ve takımların ayarlama ve ayrıca CNC tezgahlarda programlama zamanını kapsamaktadır. Ayarlama zamanı bir parti için geçerli olduğundan parça başına düşen ayarlama zamanı, n-parti boyutu (parça sayısı) olmak üzere t_a/n dir. Esas işleme zamanı parçadan efektif talaş kaldırma zamanıdır ve [1-4]

$$t_h = \frac{L}{s.n} = \frac{\pi D}{1000} \frac{L}{s.v} \quad (1.3)$$

bağıntısı ile tayin edilir. Burada: L- işlenen yüzeyin uzunluğu (yüzeyi işlemek için takım stroku) (mm); D-takımın çapı (mm); s- ($s=u.n$) ilerleme (mm/dev); n- dönme kesme hızı (dev/dak); v-kesme hızı (m/dak) dir. Yardımcı işleme zamanı parça ve takımı, tezgaha bağlama ve çözme ve ayrıca işlem sırasında ölçme zamanlarını içermekte olup, esas işleme zamanının ayrılmaz bir parçasıdır.

Yukarıda ifade edilen tüm zamanlar prodüktif ve prodüktif olmayan olmak üzere iki gruba ayrılır. Prodüktif zaman sadece esas işleme zamanı olup, bu zaman analitik bir bağıntıya göre (1.3 bağıntısı) tayin edilen tek zamandır. Diğer zamanlar prodüktif olmayan zamanlar olup, deney ve tecrübelerle göre belirlenir.

Parça imalat maliyetine gelince genelde bu maliyet; malzeme maliyeti, işleme maliyeti, takım maliyeti, tutturma tertibatları maliyeti, depo-taşıma-kontrol maliyeti gibi bileşenlerden meydana gelmektedir. Burada zaman kavramına bağlı olmayan

malzeme ve ayrıca konuyu basitleştirmek için ve gerçekten toplam imalat maliyetinin %4...%5'ni oluşturan takım ve tutturma maliyetleri bir tarafa bırakılırsa ve sadece parça işleme maliyeti ($K_{piş}$) ve parça depo-taşıma-kontrol maliyeti (K_{ptr}) dikkate alınırsa parça imalat maliyeti [3]

$$K_{pim} = \sum_{i=1}^{n_z} (K_{piş} + K_{ptr}) \quad (1.4)$$

olarak ifade edilir. Parça işleme maliyeti; işçilik , tezgah , takım değiştirme ve ayarlama maliyetlerinden meydana gelmektedir.

Yukarıdaki analiz ve denklemlere dayanarak, talaş kaldırma prosesinde zaman faktörünün etkisi ile şu sonuçlar elde edilebilir.

İlerleme hızının büyümesi ile birim zamanında kaldırılan talaş hacmi büyür (1.1 bağıntısı), aynı zamanda s ($s=u/n$) ilerlemenin büyümesi ile (n sabit kalma koşulu ile) esas işleme zamanı azalır (1.3 bağıntısı). Bununla beraber ilerleme hızı ile ilgili şu hususu da hatırlamakta yarar vardır. CNC tezgahlarda bir kesme ilerleme hızı, birde hızlı ilerleme (rapid feed) denilen iki hız kavramı vardır. Birincisi talaş kaldırma sırasında kullanılan ilerleme hızı; ikincisi ise takımı referans noktasından parçaya yaklaşma, parçadan referans noktasına getirme, iki yüzey arasında hareket etme gibi durumlarda kullanılır. Aslında hızlı ilerleme CNC tezgahının sahip olduğu en yüksek ilerleme hızıdır. İşleme zamanını azaltmak için sadece kesme ilerleme hızı değil, hızlı ilerleme hızı da yüksek olması gerekiyor.

Kesme hızının büyümesi ile esas işleme zamanı azalır (1.3 bağıntısı). Ancak burada üç hususun üzerinde durulması gerekir.

Birincisi: Esas işleme zamanı işleme stroku L , ilerleme s ve kesme hızı n veya v olmak üzere üç faktör tarafından etkilenmektedir. Şöyle ki, esas işleme zamanının azalması: L 'in küçülmesi ve s ve v 'in büyümesi ile gerçekleştirilir. İşleme stroku L 'in azaltılması ampirik olarak alınan parça giriş ve çıkış uzunlulukları 1...2 mm alınmasıdır. Bu da ancak CNC tezgahlarda mümkündür.

İkincisi u ilerleme hızının ve n kesme hızının aynı anda büyümesi $s=u/n$ bağıntısına göre s ilerlemede bir değişiklik yapmaz. Bu nedenle (1.3) bağıntısı ile ifade edilen esas işleme zamanının azaltılması, kesme hızının büyütülmesi ile gerçekleştirilir.

Üçüncüsü n veya v kesme hızının büyümesi ile ilgilidir. Kesme hızının büyümesi takımın çabuk aşınmasına ve dolayısıyla takım ömrünün azalmasına neden olabilir.

Bu nedenle esas işleme zamanlarının azaltılmasına yönelik kesme hızının büyütülmesi, aşınmaya karşı dayanıklı takımlar istenmektedir. Buradan görüldüğü gibi talaş kaldırma prosesinde kesme hızının büyütülmesi tek başına değil, takım malzemesi ile birlikte ele alınması gereken bir olaydır.

Parça imalat ve işleme zamanlarını ve bunlara bağlı maliyetlerini azaltan; parça ve takım bağlama-çözme zamanlarını içeren yardımcı işleme zamanı; takım değiştirme zamanı; depo-taşıma-kontrol zamanı gibi zamanların azaltılması, analitik bağlantılar olmadığından konstrüksiyon yolu ile gerçekleştirilir. Örneğin parça bağlama ve çözme zamanlarını azaltmak için freze ve işleme merkezlerinde palet sistemleri; takım bağlama-çözme ve takım değiştirme zamanlarını azaltmak için tornalarda taret ve freze ve işleme merkezlerinde takım magazinleri kullanılır. Ayrıca parçaların işlem arasında depo-taşıma-kontrol zamanlarını azaltmak için tezgahlar grup teknolojisi, esnek imalat hücreleri, esnek imalat sistemleri ilkelerine göre düzenlenir ve burada parçaların taşınması konveyör veya atv arabaları ile gerçekleştirilir.

Kısaca tutturma denilen parçaların tezgahlara bağlanması; gerek işleme zamanlarının ve buna bağlı işleme maliyetlerinin azaltılması, gerekse parçanın kalitesi (hatasız işlenmesi) bakımından büyük önem taşımaktadır. Bir tutturmada ne kadar çok işlem yapılırsa, parça bağlama-çözme işlemleri azaldığı için işleme zamanı da azalır. Ayrıca her tutturmada parça kalitesini menfi şeklinde etkileyen bir takım hatalar meydana geldiğinden dolayı, tutturma sayısının azaltılması parça kalitesini de artırmaktadır. Buna göre tutturma bakımından ideal durum bir parçanın bir tutturmada tam olarak işlenmesidir. Bu ilkeye şimdilik ulaşamamıştır. Bununla beraber tutturma sayısını azaltmak için şu çözümler geliştirilmiştir.

Paralel işlem: Parçanın bir tek yüzeyi değil, aynı ilerleme ile bir çok yüzeyi işlenmekte; örneğin boyuna talaş kaldırılırken, aynı anda delik açma ve pah kırma işlemi de yapılmaktadır.

Çok duraklı sistemler: Burada parça bir defa tutturulmakta ve bir çok duraklardan geçerek işlenmektedir. Tornalarda bu sistem çok eksenli tezgahlarla gerçekleştirilmektedir.

Tezgah merkezleri: Bu sistemde çeşitli talaş kaldırma prosesleri bir tezgah veya bir tutturma ile yapılmaktadır. Bu hususta frezeleme işlemi yapabilen torna merkezleri ; frezeleme ve delik işlemlerini yapan ve işleme merkezleri denilen tezgahlar geliştirilmiştir.

İmalat zamanına bağlı, maliyetin yanı sıra, rekabeti de etkileyen önemli bir faktördür teslim zamanıdır. İmalat zamanı ne kadar daha az olursa teslim zamanı da o kadar daha az olur, bu da bir şirketin rakip şirket üzerine üstünlük sağlar.

1.2 TAKIM TEZGAH VE TAKIMLAR ALANINDA GELİŞMELER

Takım tezgahların gelişmesi, yukarıda analizi ve sentezi yapılan işleme zamanların ve maliyetinin azaltılması yönünde gerçekleşmiş ve gerçekleştirilmektedir. Bu bakımından takım tezgahların gelişmesi, üç kademeye ayrılabilir. Bunlar; 1700'lerde başlayan sanayi devriminden 1950'lilere kadar süren konvansiyonel takım tezgahların gelişmesi; 1950'lerden 1995'e kadar klasik NC ve CNC takım tezgahların gelişmesi ve 1995'ten günümüzde devam eden hızlı talaş kaldıran takım tezgahların gelişmesidir. Bu gelişme kademeleri ile ilgili şu hususu hatırlamakta yarar vardır. Yukarıda verilen tarihler gelişmelerle kesin sınırlar oluşturmamaktadır. Bunlar sadece yeni bir oluşumun başlangıcını ifade etmektedirler; bu tarihlerden sonra da önceki kademelerin gelişmesi belirli bir süre devam etmektedir. Örneğin konvansiyonel tezgahların gelişmesi 1970'lere kadar devam etmiştir; aynı şekilde CNC tezgahların klasik şeklinin gelişmesi bir süre daha devam edecektir. Yani iki gelişme arasında belirli bir kesişme süresi yaşanmaktadır. Ancak bu kesişme sürelerinde önceki kademelerin gelişmeleri gittikçe azalmakta, yeni oluşumun gelişmesi ise gittikçe ağırlık kazanmakta ve hızlı bir şekilde devam etmektedir.

1. Buhar gücünün kullanılması ile başlayan sanayi devrimi ile birlikte başta tekstil, maden, demir-çelik olmak üzere çeşitli sanayi kolları meydana gelmiş, bu sanayi kolları için gereken makina ve tertibatlar için takım tezgahları geliştirilmiş ve üretim artık küçük atölyelerde değil fabrika adını taşıyan, bir çok tezgahların bulunduğu ve bir çok insanın çalıştığı birimlerde yapılmaya başlamıştır. Bu gelişmelere paralel olarak takım tezgahları imal eden fabrikalar kurulmuş ve bu birimlerde takım tezgahların gelişmesi hız kazanmıştır. Buna göre 1900'lere gelindiğinde çeşitli parçaların işlenmesi için kullanılan torna, matkap, freze, planya, vargel, silindirik ve düzlem taşlama gibi takım tezgahlar geliştirilmiştir. Ancak tüm bu tezgahlar güçlerini kayış kasnak mekanizmasının yardımıyla bir buhar makinasından alan toplu tarik denilen sisteme göre düzenlenmekte idiler. Ayrıca taşlama tezgahları hariç diğer tezgahlarda, kesme hızı 10 m/dak'yı geçmeyen takım karbon çelikleri kullanılmıştır.

1900 ila 1908 yılları arasında yaptığı çalışmalar sonucu Taylor [6] kesme hızları 30...40 m/dak ulaşan hız çeliklerini keşfettikten ve 1920'lerden sonra elektrik motorların bu alanda kullanılmaya başlamasından sonra, takım tezgahlar bağımsız ünite durumuna gelmiş; konstrüksiyonlarında rijitliğe, doğruluğa daha çok önem verilmiş; daha çok hız ve ilerleme kademeleri ile donatılmıştır. Bununla beraber 1925 yıllarından başlayarak paralel kesme de yapabilen revolver, pim kontrollü, kam kontrollü, kopyalama gibi mekanik otomat tezgahları geliştirilmiş ve bunlara 1940'larda çok eksenli torna ve çok duraklı freze tezgahları ilave edilmiştir. Aynı yılda karbür teknolojisine dayanan ilk sert metal takımı ortaya çıkmıştır. Kesme hızlarını 70...100 m/dak yükselten bu takımlar, uç şeklinde olup çelik takım gövdesine sert lehimle veya çözülür mekanik sistemlerle bağlanmaktadır. Yaklaşık 175 yıl süren bu gelişmede konvansiyonel denilecek bir imalat anlayışı da yerleşmiştir. Bu anlayışa göre bir ürün ilk önce resim tahtalarında ve elle yapılan hesaplarla tasarlanmakta; takımlar ve tutturma tertibatları hazırlanmakta; parçalar imal edildikten sonra montajla ürün meydana getirilmekte ve sonunda pazara sürülüp satılmaktadır.

2. İlk Nümerik Kontrollü (NC) tezgahı, ABD Hava Kuvvetleri tarafından verilen bir sipariş üzerine, Massachusetts Institute of Technology (MIT) laboratuvarlarında 1952 yılında meydana getirilmiştir. Bu tezgah ikili (binary) esasına göre delinmiş bir banda göre çalışan 3 eksenli dikey bir freze idi. Kontrol kısmı vakum tüpleri ve rölelerden oluşan bu tezgah, bazı iyileştirmeler yapıldıktan sonra 1954'te kamuya açıklanmış ve 1958'de ilk ticari tezgah işlemeye alınmıştır.

Konvansiyonel (Geleneksel) tezgahlara göre tamamen farklı ilkelere göre çalışan NC tezgahlarını, imalatçılar hayranlıkla izlemişlerdir. Ancak gerek fiyatların çok yüksek olması, gerekse programlama gibi yeni bir uğraşın ortaya çıkması, bu tezgahların piyasada çok rağbet görmemesine neden olmuştur. Burada hatırlanması gereken bir husus; bilgisayarların da piyasaya yeni çıkmış olmasıdır. Buna bağlı olarak tamamen yeni ve zor bir işlem olarak görülmekteydi. Ticari başarısızlığa rağmen bir çok özel firma, enstitüler, şirketler bu yeni oluşumun önemini kavramış ve bu tezgahları geliştirmeye çalışmışlardır.

Buna göre 1964 yılında NC tezgahların kontrol sistemleri, transistör ve 1968'de entegre devre esasına göre yapılmaya başlamış ve çok büyük dolaplarda yer alan kontrol sisteminin hacmi küçülmüş ve iş kapasitesi artmıştır. 1972' de hesap yapabilme ve bellek oluşturma için NC tezgahların kontrol sistemine bir minibilgisayar ilave edilmiş ve bu tarihten sonra NC yerine CNC terimi kullanılmaya

başlanmıştır. 1974'de Intel'in 8086 mikroprosesörün ortaya çıkması ile NC tezgahların bilgisayarı bu mikroprosesörle donatılmış ve mikroprosesörlerin 80286, 80386, 80486, Pentium gibi gelişmeleri NC kontrol sistemlerine de uygulanmıştır. 1977'de programlama CAM adı altında belirli bir programa göre yapılmaya başlanmış ve 1977'de NC tezgahları, programlamayı tezgah üzerinde de yapma imkanı veren bir kontrol panosu ile donatılmıştır. Bu gelişmeler her yıl artan bir hızla devam etmiştir.

Kontrol sisteminin gelişmesine paralel olarak tezgah konstrüksiyonunda da şu önemli değişiklikler yapılmış: Rijid gövde ve içi-içe tasarıma geçilmiş, ilerleme sistemlerinde verimi ve rijitliği çok daha yüksek olan bilyalı civatalar kullanılmaya başlanmıştır. Kızaklarda aşınmaya dayanıklı ve sürtünme katsayısı düşük olan plastik malzeme kaplamalara geçilmiş veya yuvarlanmalı kızaklar kullanılmaya başlanmış; parçaları bağlamak için palet sistemleri, takımlar için yeni tip taret ve takım magazinleri geliştirilmiştir.

Programlama sisteminde CAM programları geliştirilerek en karmaşık yüzeylerin programlanması mümkün kılınmış, CAD-CAM ve sonra CAD-CAM-CNC entegrasyonu sağlanmış, buna dayanarak DNC, esnek imalat hücreleri (FMC) ve esnek imalat sistemleri (FMS) oluşturulmuştur.

Bu gelişmelere paralel olarak takım alanında da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Buna göre 1956'da çözülebilir mekanik bağlamalı uç ve takımlar çıkmış ve 1960'ta ilk tek tabakalı kaplamalı sert metal uçları piyasaya girmiştir. Çok ağızlı olan çözülebilir bağlamalı uçlarda, bir ağız körlendikten sonra bilenmez; çözülür ve başka ağız kesme durumuna getirilir. Tüm ağızlar körlendikten sonra uç atılır. 1970'te çok tabakalı kaplamalar ortaya atılmış ve 1980'den sonra sermet, CBN (cubic boron nitride) ve PCD (polycrystalline diamond-elmas) gibi malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Tüm bu malzemeler sert ve yüksek aşınma mukavemetine sahip olmakla beraber, yüksek hızlarda talaş kaldırabilirler.

1990'lara gelindiğinde CNC tezgahlarında kontrol sistemi, programlama ve konstrüksiyon bakımından büyük gelişmeler olmuştur. Bununla beraber NC sistemleri imalatı yeni boyutlar getirmiştir. Buna göre üretimin, "tasarım, proses planlama, imalat" gibi tüm kademeleri genelde bilgisayar destekli entegre şeklinde yapılmaktadır. Tasarım CAD-CAM sistemine dayanarak; tasarım, proses planlama, imalat, NC programlama, pazarlama vb gibi uzmanların katılımı ile eş zamanlı mühendislik; veya bir modelden hareket ederek tarama yolu ile ters mühendislik

şeklinde gerçekleştirilmektedir. İmalattan önce sanal imalat şeklinde imalat simülasyonu yapılabilmektedir. İmalat hammaddesi, parça akışı, takım akışı ve esasen tezgahlarda işlemler tek bir noktadan kontrol edilerek entegre bir şekilde çalıştırılabilmektedir.

Nümerik kontrollü tezgahların meydana gelmesi, imalat alanında bir devrim yaratmıştır. Bu devrimin esası, takım tezgahların programlanabilen yani insansız çalışabilen birer tertibat olmasıdır.

3. 1990'lerden başlayarak talaş kaldırma alanında CNC tezgahların, takımların, NC kontrol sistemlerin gelişmelerine bağlı olarak yeni bir dönem başlamıştır. Bu dönemin esasını hızlı talaş kaldırma, sert talaş kaldırma ve kuru talaş kaldırma oluşturmaktadır.

Yeni dönemin oluşmasına neden olan CNC tezgahlarında en önemli gelişmeler: Doğrusal ilerleme sistemleri, yekpare iş mili servo motor sistemleri olmuştur. Takım alanında gelişmeler sermet, CBN, PCD gibi takım malzemelerin ve çok tabakalı kaplamalı takımların ortaya çıkmasıdır. Kontrol sistemlerindeki gelişmeler ise dijital kontrol ve açık kontrol sistemleri olmuştur. Şekil 1.1'de günümüzdeki imalatın amacı esas alınarak, takım alanındaki faktörler ve gelişmeler gösterilmiştir.



Şekil 1.1 İmalat amacına bağlı olarak talaş kaldırma alanında gelişmeler.

Hızlı talaş kaldırma dönemin başlamasının bir başka nedeni de, talaş kaldırmaksızın prototip ve üretim yapan talaşsız hızlı prototip sistemlerin rekabeti de olmuştur. Bu yöntemler sayesinde, konvansiyonel yöntemlerle 6 ila 12 ay; klasik CAD-CAM-CNC sistemlerle 1 ila 2 ay süren bir kalıbın yapılması 5...10 güne indirilmiştir. Bu rekabetin karşısında talaş kaldırma alanında kalıbı hemen hemen aynı süre içinde yapan hızlı talaş kaldırma yöntemi geliştirilmiştir.

1995'e kadar prototip ve deneme safhasında bulunan hızlı talaş kaldırma, bu tarihten itibaren üretim ünitelerinde yalnızca imalat için değil prototip, kalıp ve model yapımında ve çok hassas işlemlerde de kullanılmaya başlanmıştır.

Henüz yeni başlamasına karşın, hızlı talaş kaldırma imalat sistemini esastan değiştirecek bir yöntem olarak görünmektedir. İmalat süresinin olabildiğince kısaltılmasını amaçlayan bu yöntem, esasen talaş kaldırma alanında son zamanlarda meydana gelen tüm yeniliklere dayanmaktadır. Bu yöntemin etkisi altında, nasıl ki günümüzdeki bir işleme merkezi, bundan kırk yıl önceki bir frezeden farklı ise, geleceğin takım tezgahları da, günümüzdeki takım tezgahlardan farklı olacaktır. Bunun sinyalleri daha şimdiden verilmeye başlanmıştır. Günümüzde prototip olarak üretilen ve heksapod adını taşıyan tezgahlar geliştirilmiştir.

Ancak NC tezgahların ortaya çıkması ile hızlı talaş kaldırmanın meydana gelmesi arasında önemli bir fark vardır. NC tezgahlar çalışma ilkesi bakımından konvansiyonel tezgahlara göre o zamana kadar hiç bilinmeyen yeni ve kalitatif bir gelişme olmuştur. Tüm üretim birimleri, psikolojik ve teknolojik bakımından buna hazır değildiler. Alışmaları için uzun bir zamana ihtiyaç duyuldu. Hızlı talaş kaldırma, CNC tezgah gelişmesinin doğal bir sürecidir. İmalatta gelişmeleri takip eden her hangi bir kişi bu gelişmeyi beklemekteydi. Dolayısıyla bu yöntemle çalışma süresi daha kısa ve daha verimli olacaktır.

1.3 TEZİN KONUSU

Hızlı talaş kaldırma yeni bir oluşum olmakla beraber, imalat alanında devrim niteliği taşıyan değişiklikler meydana getirecektir. Konu yeni olduğundan, bu hususta yayınlanan araştırma ve incelemeler oldukça sınırlıdır. Bu hususlara bağlı olarak Tezin konusu, çok yakında imalat teknolojisinin esasını oluşturacak hızlı talaş kaldırma yöntemi ile ilgilidir.

Buna göre tezin konusu: “CNC TAKIM TEZGAHLARINDA HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ” olarak belirlenmiştir.

Talaş kaldırma prosesi: Prosesin temelini oluşturan talaşın oluşumu, takım aşınması ve buna bağlı takım ömrü, talaş kaldırma kuvvetleri, sürtünme, enerji (ısı), yüzey kalitesi, kesme sıvısının etkisi vb. gibi bir çok yönden incelenebilir. Tezde talaş kaldırma prosesin incelenmesi takım aşınması ve takım ömrü esaslarına göre yapılmıştır. Bu seçimin nedeni, takım aşınması ve ömrüne bağlı olan incelemelerin sonuçları, pratik uygulamalara çok yatkın olmalarıdır. Zira, takım aşınması ve ömür araştırması, kesme koşulları denilen kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığı gibi faktörlere bağlı olarak yapılmaktadır. Halbuki bu faktörler talaş kaldırma üretiminin ana faktörlerini oluşturmaktadır. Ancak talaş kaldırma alanında, deneysel

Çalışmaların çok karmaşık, çok zaman alıcı, maliyeti çok yüksek ve özellikle ülkemizde uygun tertibatların bulunmamasından dolayı çok zor olduğunu dikkate alarak, tezde kesme faktörlerinden en önemlisi olan yalnızca kesme hızı bakımından inceleme yapılmıştır. İlerleme ve paso kalınlığı sabit tutulmuştur.

Bununla beraber tez yalnızca aşınma ve ömür sonuçları ile sınırlı kalmamıştır. Deney sonuçlarının incelenmesine dayanarak, talaşın oluşumu ve aşınma ile ilgili yeni bir teori oluşurmaya ve bu şekilde talaş kaldırma prosesine ait temel teoriye bir katkıda bulunmaya çalışılmıştır.

Günümüzde talaş kaldırma yöntemi, yalnızca sanayileşmiş ülkelerde değil, ülkemizde de sanayiinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Üstelik bu sanayi kolunda değer katma niteliği, diğer sanayi kollarına göre kat, kat daha yüksektir. Bu alanında imalat zamanının 1 dakika ile azaltılması, büyük maliyet tasarruflarına neden olmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi hızlı talaş kaldırmanın başlıca amacı parça imalat zamanını ve buna bağlı parça maliyetini azaltmaktır. Dolayısıyla bu yöntemin ülkemizde kullanılması ve yaygınlaştırılması, üretim maliyet tasarrufu sağlamakla beraber, sanayimizin Batı ülkelerdeki sanayi ile rekabet edecek seviyeye getirecektir. Tezin konusu, bu yöntemin Türkiye’de rasyonel ve bilinçli bir şekilde kullanılması ve yaygınlaştırılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca ilk defa ülkemizde bu konunun doktora çalışması olarak ele alınması, tez’e bir ilk unvanını da katmaktadır.

2. TALAŞ KALDIRMA TEORİSİNİN ESASLARI

2.1. GİRİŞ

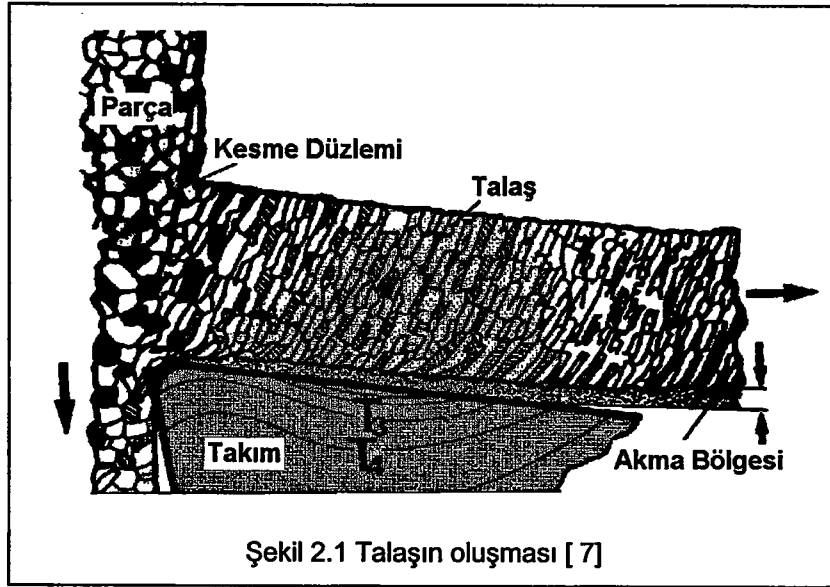
Talaş kaldırma teorisi, talaş kaldırma prosesinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu teorinin sonucu olarak parça malzemesine bağlı olarak talaş kaldırma koşulları (kesme hızı, ilerleme, paso kalınlığı), takım malzemesi ve geometrisi bilimsel olarak seçilir. Esasen talaş kaldırma olayı, birbirine bağlı olmakla beraber birçok açıdan incelenebilir. Bunlardan talaş kaldırma olayının fiziksel açıdan incelenmesi, talaş kaldırma teorisinin temelini oluşturmaktadır. Aşınma-ömür, sıcaklık, kuvvet, enerji, sürtünme vb. gibi diğer incelemeler, esasen genel teoriye dayanmaktadır.

Geçen yüzyılın sonlarına doğru başlayan talaş kaldırma ile ilgili araştırmalar, 1940'lara kadar artan bir hızla devam etmiş, bu tarihten sonra özellikle sanayileşmiş ülkelerde üssel bir gelişme göstermiştir. Çok zor ve karmaşık bir olayı açıklamak için, teorik modellere dayanarak bir çok teoriler ortaya atılmıştır. Şöyle ki, günümüzde bu hususta hacim olarak büyük, alan olarak geniş bir literatür vardır. Buna karşın Türkiye'de bu alanda incelemeler yok denilebilecek kadar azdır.

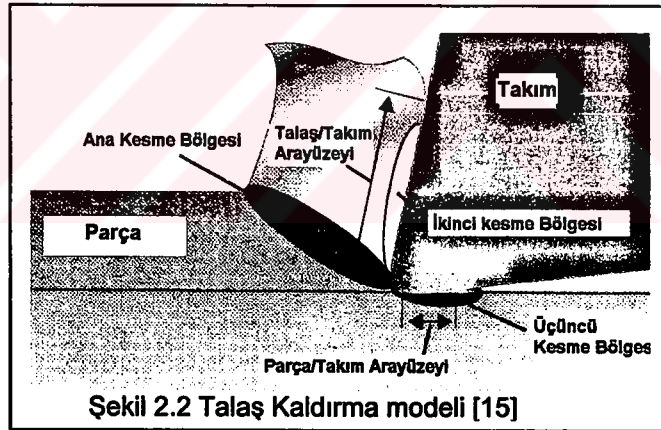
2.2 TALAŞ KALDIRMA PROSESİN İNCELENMESİ

Proses olarak talaş kaldırma teorisinin odak noktası talaşın meydana gelmesidir. Şimdiye kadar yapılan incelemelerin sonucu olarak [1-5, 7-14], konvansiyonel kesme ve ilerleme hızlarında talaşın meydana gelme olayı büyük çapta anlaşılmıştır.

Buna göre talaş ana malzemeden plastik şekil-değiştirmenin sonucu meydana gelmektedir. Keskin bir uç, bir malzemeye nüfus ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında, malzemenin plastik şekil değiştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir (Şekil 2.1). Bu şekil değiştirmeler ana kesme bölgesi (düzlemi) denilen bir bölgede yoğunlaşır, gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş ana malzemeden kopar, ana kesme düzleminde kaymaya başlar ve sonunda malzemeden tamamen ayrılır.



Malzemeden ayrılan talaş, takımın kesme yüzeyinden kayarak ikinci bir akma bölgesi oluşturur ve ana malzemeden uzaklaşır. Talaşın takımın kesme yüzeyinde kayması, yüksek basınçlar altında meydana gelir. Bu ağır koşullarda oluşan sürtünmeden dolayı, takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar (çelikten talaş kaldırmada 1200°C 'ye kadar) meydana gelir. Bu yüzeyde de belirli koşullarda üçüncü kesme düzlemi oluşur. (Şekil 2.2)



Proses bakımından talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant'ın çalışmaları olmuştur. Merchant [9] Şekil 2.3a'da gösterilen ve ortogonal adını taşıyan bir model oluşturmuş ve burada takımın kesme ağzını, kesme hız vektörüne dik olan kama şeklinde temsil etmiştir. Takımın, talaşın aktığı yüzeyi talaş yüzeyi ve işlenmiş yüzeye dönük yüzeyi serbest yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir; bu uç yuvarlatma yarıçapının r değeri ile hafifçe yuvarlatılır. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğrudan oluşan koordinat

sisteminde, takım geometrisini tayin eden talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve serbest açısı (α) ifade edilir. Bu açılar arasında

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (2.1)$$

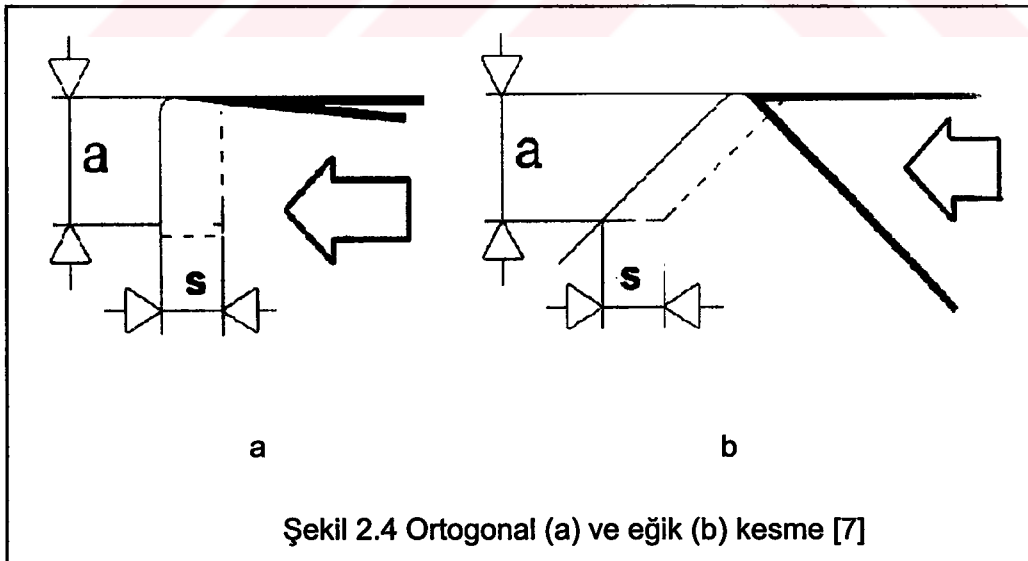
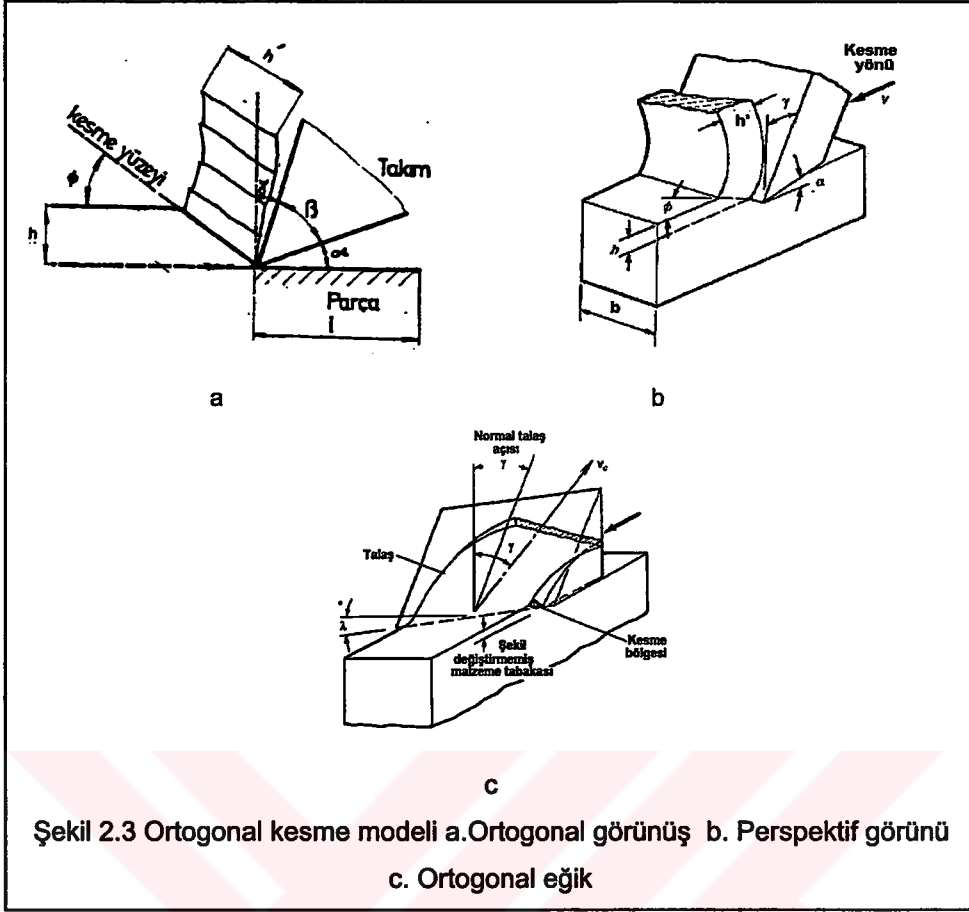
bağlantısı vardır.

Şekil 2.3a,b 'de gösterilen ortogonal modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı, kesme hız vektörüne eğik olan eğik kesme modeli de vardır (Şekil 2.3c). İki boyutlu bir kesme düzeni oluşturan dik ortogonal modeline karşı, eğik ortogonal model, bir çok gerçek talaş kaldırma yöntemlerde olduğu gibi üç boyutlu bir kesme düzeni meydana getirmektedir. Burada talaş, takımın talaş yüzeyinde v_c yönde akmaktadır. Takım ağzına normal bir çizgi çizilirse normal talaş açısı γ (γ_n) tayin edilir. Ayrıca v kesme hızı vektörüne dik bir çizgi çizilirse, bu çizgi ile v_c yönü arasında γ_e efektif talaş açısı bulunur. Bununla beraber eğim açısı λ da dikkate alınırsa eğik modeli için [4,5,12]

$$\sin \gamma_e = \sin^2 \lambda + \cos^2 \lambda \sin \gamma \quad (2.2)$$

bağıntısı yazılabilir. Buradan görüldüğü gibi eğik kesmede efektif talaş açısı normal (yani ortogonal) talaş açısından her zaman daha büyüktür. Şekil 2.4'te pratikte uygulanan dik ortogonal (a) ve eğik kesme (b) örnekleri verilmiştir. Ortogonal kesmede kesme hızının veya parçanın dönme eksenine takım ağzına diktir. Eğik kesmede ise belirli bir açı yapmaktadır; bu açığa yerleştirme veya giriş açısı denilir.

Eğik kesme, dik kesmeden daha kolay gerçekleştirilir. Bu nedenle genelde gerçek talaş kaldırma yöntemlerinde genelde eğik kesme kullanılır. Ayrıca eğik kesmede talaş malzemeden ayrıldıktan sonra helisel yay şeklini alır. Bu da serbest talaşın işgal ettiği hacmi, önemli şekilde azaltır. Talaşın önemli boyutları kalınlığı ve genişliğidir. Talaş parçadan ayrılırken şekil-değiştirir ve parça üzerinde bulunan ve şekil değiştirmemiş tabakadan daha kalın ve kısa olur (Şekil 2.3a). Genişlik b aynı kalır. Malzemenin üzerinde bulunan tabaka kalınlığı h , ve talaş olarak malzemeden ayrılan tabaka kalınlığı h' ile gösterilir.

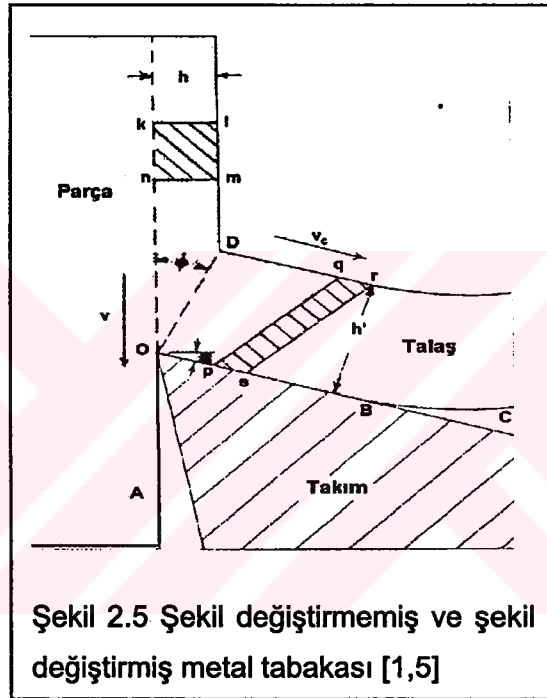


Parça üzerinde tabaka halinde bulunan malzeme hacmi ile kaldırılan talaş hacmi aynı olduğundan $V=hlb=h'l'b$ eşitliğinden talaş kalınlıkları oranı denilen [1,5]

$$\lambda_s = \frac{h}{h'} = \frac{l'}{l} \quad (2.3)$$

oranı elde edilir. Burada: h şekil değiştirmemiş tabakanın kalınlığı; l şekil değiştirmemiş tabakanın uzunluğu; h' -şekil-değiştirmiş talaş kalınlığı; l' şekil değiştirmiş talaşın uzunluğudur.

Kesme düzleminin parça yüzeyi ile yaptığı ϕ açısına kesme açısı denilir. Şekil 2.5



dikkate alınır, kesme açısı ile talaş kalınlıkları oranı arasında [1-5, 7-14]

$$\tan \phi = \frac{\lambda_s \cdot \cos \gamma}{1 - \lambda_s \sin \gamma} \quad (2.4)$$

bağıntısı vardır. Gerek λ_s , gerekse ϕ parça üzerindeki tabakanın talaşa dönüşmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Buna bağlı olarak talaş kaldırma prosesinin değerlendirilmesindeki bazı incelemelerde talaş kalınlıkları oranı, bazılarında kesme açısı kullanılır. Genelde $h < h'$ olduğundan $\lambda_s < 1$ 'dir.

1. Buna göre talaş kaldırmada ana olay, önemli şekilde talaş kalınlıkları oranı tarafından etkilenen kesme düzleminde meydana gelmekte ve plastik şekil değiştirme şeklinde kendisini göstermektedir. Aslında talaş kaldırmada, birisi parçanın AO ((Şekil 2.5) yeni yüzeyi, diğeri talaşın alt yüzeyi BC olmak üzere iki yüzey meydana gelmektedir. Her iki yüzeyin oluşması için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerjinin büyük bir kısmı, kesme düzleminde plastik şekil değiştirmenin sonucu olarak ana malzemeden ayrılan metal için harcanmaktadır.

Diğer taraftan kesme ağzının, parçadan ayırdığı ve takım yüzeyi üzerinde akmaya zorladığı metal tabakasında büyük kesme gerilme yoğunlaşması meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak talaşın arka kısımlarında akma çizgileri ve parça yüzeyinde metaldeki şekil değiştirmelerin etkisi ile yapı değişiklikleri meydana gelmektedir.

Talaş kaldırma prosesinde dikkate alınacak üç çeşit hız vardır: Bunlar (Şekil 2.6); kesme hızı (v), talaş hızı (v_a) ve kayma hızı (v_k)'dır. Kesme hızı talaşın kaldırılmasını gerçekleştiren, takımın parçaya göre olan izafi hızıdır. Talaş hızı talaşın takımın talaş yüzeyinden aktığı, talaşın parçaya göre izafi hızı; kayma hızı ise, yönü kayma düzlemi boyunca olan talaşın parçaya göre izafi hızıdır. Vektör olarak temsil edildiğinde esasen kesme hızı ve talaş hızı, kayma hızının bileşenleridir. Şekil 2.6 dikkate alınırsa kayma hızının ve talaş hızının değeri

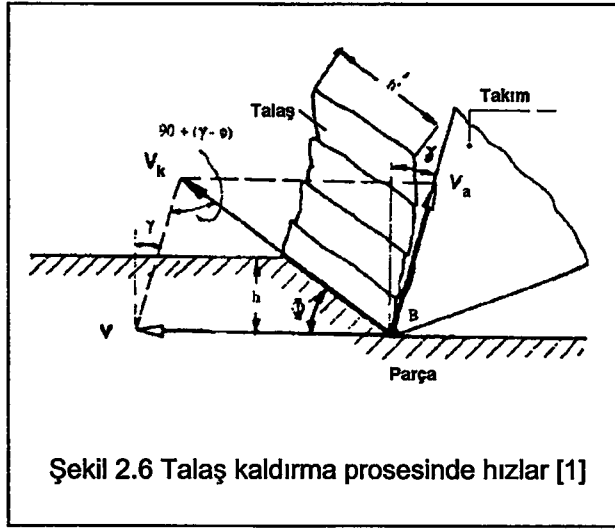
$$v_s = \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)} v = \gamma \cdot \sin \phi \cdot v \quad (2.5)$$

ve

$$v_a = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} v = \lambda_s \cdot v \quad (2.6)$$

olarak bulunur.

Kesme düzlemde meydana gelen şekil değiştirme miktarı, (2.4) bağıntısına göre takımın γ talaş açısına bağlıdır (Şekil 2.7). Talaş açısı küçük olduğu durumda, kesme gerilmeleri çok büyük olmakta ve talaş kaldırma daha zor koşullarda gerçekleşmektedir.

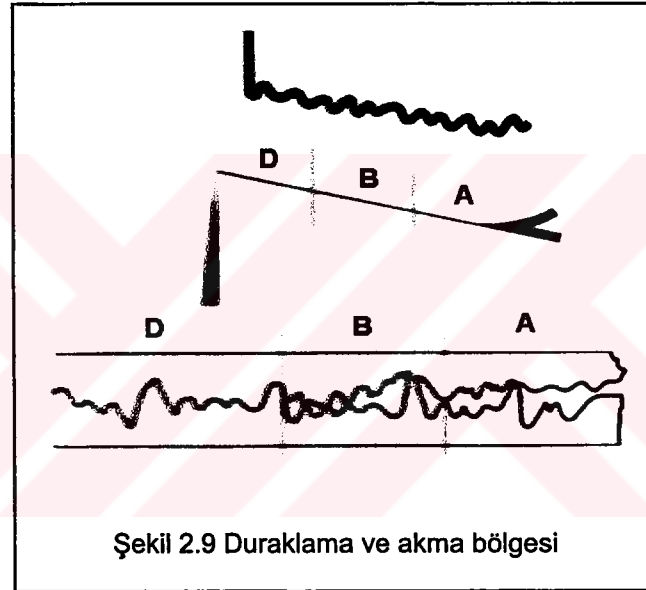


2. Talaş kaldırma olayında ikinci önemli husus, ana malzemeden koptuktan sonra talaşın takım yüzeyi üzerinde akmasıdır. Burada talaşın yüksek basınçların etkisi altında takım yüzeyinde akmaya zorlanması, sürtünme olayını prosesin önemli ve aynı anda ayrılmaz bir faktörü olarak meydana getirmektedir. Yapılan araştırmalara göre [5,11,12], başlangıçta her iki yüzey (talaş ve takım yüzeyleri) birbirine uymaya çalışmaktadır. Şöyle ki, takımın uç kısmında bir duraklama meydana gelmekte ve sonra akma başlamaktadır (Şekil 2.8). Burada talaşın hızı yaklaşık sıfırdan, kesme hızına bağlı maksimum bir değere ulaşmaktadır ($v_c = v/\lambda_s$; $\lambda_s = h/h'$). Esasen talaşın takım yüzeyi üzerinden akması kesme gerilmelerin etkisi altında meydana gelmektedir. Buradaki sürtünme olayı da dikkate alınırsa duraklama ve akma bölgesinde büyük miktarda ısı oluşmaktadır.

Esasen duraklama (D) bölgesinden sonra, akma bölgesinde ilkin bir adhezyon ve difüzyon (B) ve sonra bir abrazyon (A) bölgesi meydana gelmektedir (Şekil 2.9). Tüm bu bölge yüksek sıcaklıkların etkisi altında bulunan çok ince ergimiş bir metal tabakasından oluşmaktadır. Talaş esasen bu ergimiş tabaka üzerinde kaymaktadır.



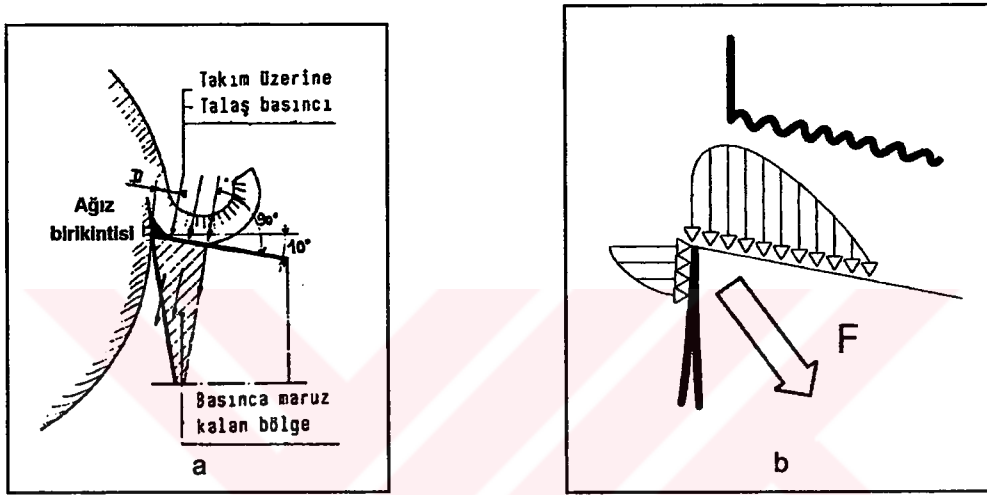
Şekil 2.8 Duraklama bölgesi [7]



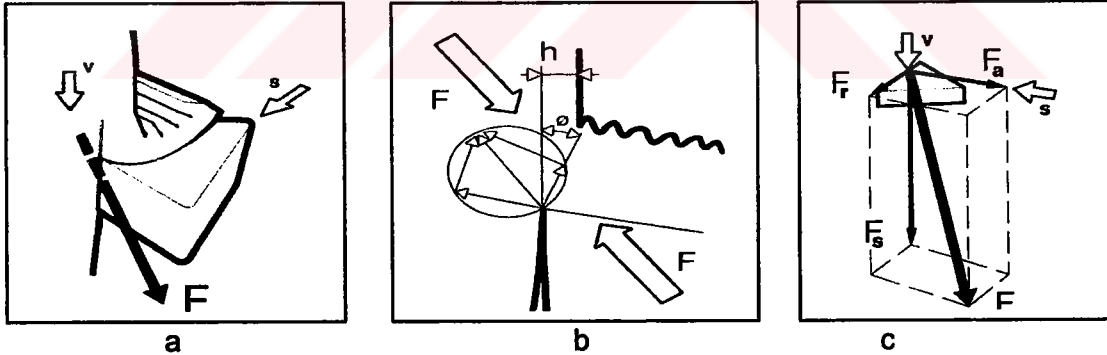
Şekil 2.9 Duraklama ve akma bölgesi

Bu kısa incelemeden sonuç olarak şu söylenebilir: Talaş kaldırma olayını tayin eden iki bölge büyük önem taşımaktadır. Birincisi talaşın ana malzemeden ayrıldığı kesme düzlemi ve diğeri talaşın takım yüzeyi üzerinden aktığı akma bölgesidir. Bu bölgelerde talaş kaldırma olayını karakterize eden, “plastik şekil değiştirme, sürtünme ve ısı” meydana gelmektedir. Bununla beraber talaş kaldırma olayı, belirli bir gücün etkisi altında talaşın zorla ana malzemeden ayrıldığı bir olaydır. Güç kesme kuvvetleri denilen kuvvetlerin yardımı ile uygulanır. Dolayısıyla bu olayda güç ve kuvvetlerin incelenmesi de önemli bir olaydır. Burada şu hususu hatırlamakta yarar vardır. Güç dışardan verilen bir faktördür. Plastik şekil değiştirme, sürtünme ve ısı, prosesin içinde meydana gelen olaylardır.

3. Talaş kaldırma için gereken güç ile kesme kuvvetleri arasında belirli bağıntılar vardır. Kesme kuvvetleri teorik olarak hesaplanabilir veya bir dinamometrenin yardımı ile ölçülebilir. Proseste yer alan fevkalade basınçların ve sürtünmenin etkisi altında (Şekil 2.10), belirli yönlerde yönelik kuvvetler meydana gelmektedir. Talaş kaldırma prosesinde takım ağzına uygulanan ana gerilmeler basma şeklinde olup (Şekil 2.10a), bunların yanı sıra kesme gerilmeleri de vardır. Basma gerilmeleri ağza doğru yoğunlaşmakta ve burada çeşitli bileşenler meydana getirmektedir (Şekil 2.11a,b,c). Şekil 2.11c dikkate alınırsa talaş kaldırma kuvveti denilen F kuvvetinin, kesme kuvveti F_s , radyal kuvvet F_r ve ilerleme veya eksenel kuvvet F_a olmak üzere üç bileşeni vardır.



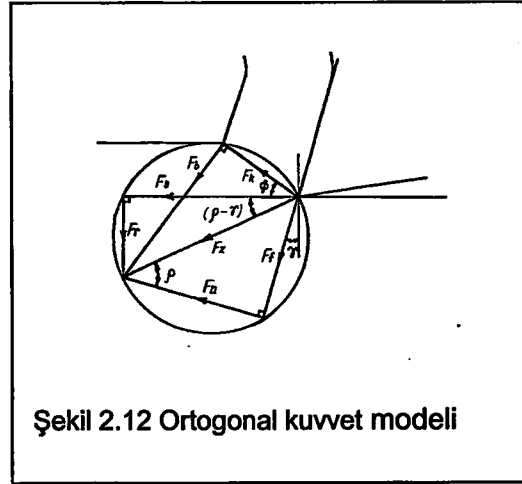
Şekil 2.10 Talaş kaldırma basınçları [1,7]



Şekil 2.11 Kesme kuvvetleri [1,7]

Dik ortogonal modelinde F kuvvetinin yalnızca F_s ve F_r bileşenleri vardır. Talaş kaldırma kesme kuvvetleri geniş bir araştırma konusu olmasına karşın [1-17], Bu hususta 1940-1945 arasında ortaya atılan Merchant [9]'ın modeli hala geçerlidir. (Şekil 2.12). Bu modelde F_z olarak ifade edilen talaş kaldırma kuvveti, ağız düzleminde F_s ve F_r ; kesme düzleminde F_k ve ona dik yönde F_b ; talaşın akma yüzeyinde F_f ve ona dik olan F_n olmak üzere üç grup bileşenlere ayrılmıştır. Burada:

F_s - kesme kuvveti; F_r - radyal kuvvet; F_f - sürtünme kuvveti; ϕ -kesme açısı; γ - talaş açısı ve ρ -sürtünme açısıdır. Bu modele göre sırasıyla kesme düzleminde ve takımın talaş yüzeyinde yatay ve dikey yönde



$$F_k = F_s \cdot \cos \phi - F_r \cdot \sin \phi \quad (2.7)$$

$$F_b = F_s \cdot \cos \phi + F_r \cdot \sin \phi = F_k \cdot \tan (\phi + \rho - \gamma) \quad (2.8)$$

kuvvet denge denklemleri yazılırsa ve kesme düzleminde talaş kesiti

$$A_s = \frac{h \cdot b}{\sin \phi} \quad (2.9)$$

ve ayrıca kayma gerilmeleri

$$\tau = \frac{F_k \cdot \sin \phi}{h \cdot b} \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilirse F_s kesme ve F_r radyal kuvvetlerin değeri

$$F_s = \frac{\tau_K \cdot h \cdot b \cdot \cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (2.11)$$

$$F_r = \frac{\tau_K \cdot h \cdot b \cdot \sin(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (2.12)$$

şeklinde elde edilir. Kesme ve radyal kuvvetlerinin bu bağıntılarla tayin edilmesi, kesme açısı ϕ ve sürtünme açısı ρ 'unun [18] bilinmesine bağlıdır .

Talaş kaldırma olayında önemli bir rol oynayan ve kesme düzlemini tayin eden ϕ kesme açısı, bir yandan bu düzlemde meydana gelen hidrostatik basınç, plastik şekil değiştirmeler ve sürtünme, diğer yandan kesme koşullarına, takım geometrisine ve parça malzemesine bağlı olarak belirli bir değer almaktadır. Kesme açısının optimum değerini bulmak için [9,13,16] minimum enerji ilkesi'nden hareket ederek, (3.6) bağıntısı

$$\frac{dF_s}{d\phi} = 0$$

veya

$$\frac{dF_s}{d\phi} = \frac{h.b.\tau_K.\cos(\rho - \gamma).\cos(2\phi + \rho - \gamma)}{\sin^2 \phi.\cos^2(\phi + \rho - \gamma)} = 0 \quad (2.13)$$

şeklinde yazılırsa, minimum enerji ilkesine göre kesme açısı

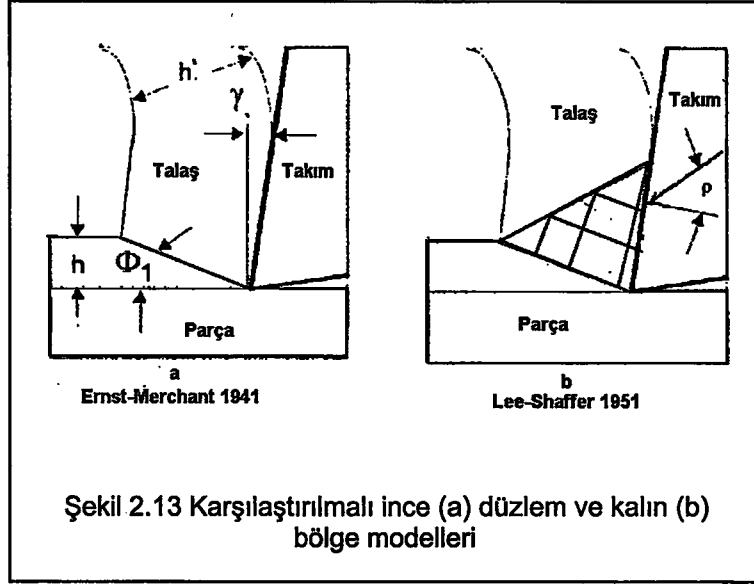
$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\rho - \gamma) \quad (2.14)$$

olarak bulunur; burada: β - takımın kama açısı; α - takımın serbest açısıdır. Bu bağıntıya göre talaş kaldırma minimum bir enerji ile gerçekleşmesi için, kesme açısı 45° civarında olması gerekir; $\rho < \gamma$ olduğu durumda $\phi_o > 45^\circ$; $\rho \geq \gamma$ olduğu durumda $\phi_o \leq 45^\circ$ olur. Merchant'ın bu teorisine ince düzlem teorisi denilir. Bu teoride çok ince olan kesme düzlemi iki eksenli bir gerilme halini temsil etmektedir.

Talaş kaldırma prosesini açıklayan ince bölge teorisinin yanı sıra, ortaya atılan kalın bölge teorisi de vardır [11,19-28]. Bu teoriye göre talaş kaldırma sırasında esasen ince bir tabaka değil de, kalın bir bölge plastik şekil-değiştirme gösterir (Şekil 2.13) . Bu durumda bu bölgede üç eksenli gerilme hali teorisi geçerli olmaktadır. Burada plastik şekil-değiştirme teorisinde yer alan kayma çizgiler alanı (SLF) teorisine dayanarak kesme açısı için

$$\phi = \frac{\pi}{4} - (\rho - \gamma) \quad (2.15)$$

bağıntısı bulunur.



Cetvel 2.1'de gerek ince düzlem, gerekse kalın bölge teorilerin sonuçları verilmiştir. Ayrıca burada ρ_s kesme düzlemindeki sürtünme katsayısını içeren $f(\rho_s, \gamma, \rho_1)=0$ şeklinde bağıntılar da verilmiştir. Cetvel 2.1'de C_0 sabitesi örneğin malzemenin anizotropisi gibi parça malzemesinin özelliklerini ifade eden bir faktördür.

4. Sonuçlar: Özet olarak talaş kaldırma prosesi incelenen bu bölümde aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

- Talaş kaldırma olayında, birisi kesme, diğeri akma olmak üzere iki önemli bölge vardır. Takıma uygulanan kuvvetlerin etkisi altında, kesme bölgesinde meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmelerin sonucu olarak, malzeme tabakası ana malzemeden talaş olarak ayrılmaktadır. Ayrıldıktan sonra talaş, bir duraklama sürecinden sonra, beraberinde getirdiği yüksek sürtünme ve yüksek ısı koşullarında takım üzerinde kaymaya başlar.

- Ana kesme düzlemini tayin eden açı, talaş kaldırma sırasında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler, sürtünme ve ısı; talaş kaldırmak için gereken enerji; takım geometrisi (özellikle talaş açısı) ve takım-parça malzemesi gibi faktörlere bağlıdır. Kesme açısı olarak ifade edilen bu açının değeri, esasen yukarıda açıklanan tüm olayları yansıtmaktadır.

Tablo 2.1 Araştırmacılara göre kesme açısının değeri

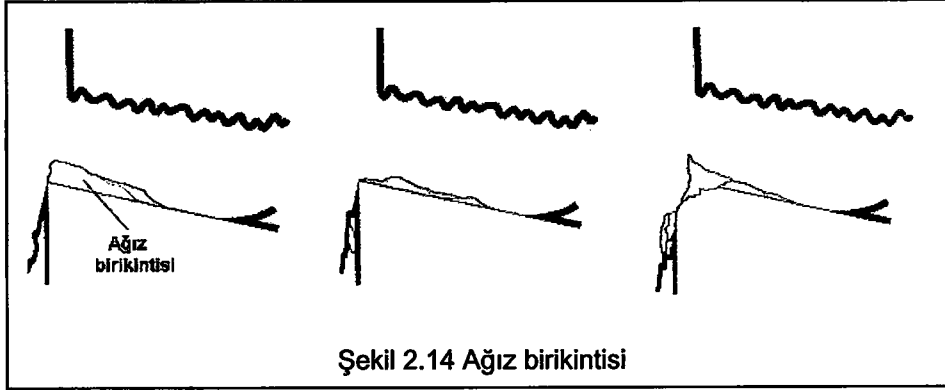
Araştırmacı	$\Phi=f(\gamma,\rho)$	$\Phi=f(\gamma,\rho,K)$
Erst ve Mercant [9]	$\Phi=(\pi/2)-(\rho-\gamma)/2$	
Merchant [9]	$\Phi=(C_0/2)-(\rho-\gamma)/2$	$+\rho+2\rho_s-\gamma+C_0-180^0=0$
Stabler [10]	$\Phi=\pi/2-\rho+\gamma/2$	$+\rho_s-\gamma/2-\pi/2=0$
Lee ve Shaffer [19]	$\Phi=(\pi/2)-(\rho-\gamma)/2$	$+\rho_s-\pi/2=0$
Lee ve Sharfer [19]	$\Phi=28,65.(1-\cot g\rho_s)-\rho+\gamma$	$+\rho_s-\pi/2=0$
Hucks [27]	$\Phi=28,65.\arctg(2tg\rho)-\gamma$	$+2tg\rho-tg2(\rho_s+\rho+\gamma)=0$
Shaw, Cook ve Finnie [67]	$\Phi=\pi-(\rho-\gamma)-\rho_s$	
Weiss [75]	$\Phi=54,7^0-(\rho-\gamma)$	$+\rho_s-35,3^0=0$

• Kesme açısının tayin edilmesi, talaş kaldırma prosesini inceleyen tüm araştırmacıların ana hedefi olmuştur. Buna göre ince tabaka ve kalın tabaka gibi çeşitli teorilere dayanarak , ϕ kesme açısını veren çeşitli bağıntılar elde edilmiştir (Tablo 2.1).

• Bu bağıntıların hiç biri tam olarak gerçek kesme açısının değerini vermemektedir. Olaya bakış açısına ve dayandıkları teoriye göre, bazı bağıntılar belirli koşullarda, bazıları da başka koşullarda geçerlidir. Bu da, talaş kaldırma olayını etkileyen faktörlerin çokluğu dikkate alınırsa, normal olarak karşılanması gerekir.

• Talaş kaldırma olayında meydana gelen ve araştırmaların konusu olan bir başka olay ağız birikintisidir. Belirli koşullarda ve parça malzemesine bağlı olarak takım ucunda, akan talaştan sertleşmiş bir malzeme birikintisi meydana gelmektedir (Şekil 2.14). Burada malzeme takım üzerinde adeta kaynatılmış gibidir. Takımın kesme açısını değiştiren bu birikinti, kararlı (stabil) değildir. Çeşitli noktalarda kopmakta, erimekte ve sonra yeniden oluşmaktadır. Bazı durumlarda belirli bir kesme hızı/sıcaklık bölgesinde, bazı durumlarda parça malzemesine bağlı olarak meydana

gelmektedir. Yüksek hızlarda, bu malzeme erimekte ve kaybolmaktadır. Genelde ağız birikintisi menfi olup, talaş kaldırma olayında önlenmesi gereken bir olaydır.



2.3 TAKIM-PROSES-PARÇA BAKIMINDAN TALAŞ KALDIRMA OLAYININ İNCELENMESİ

2.3.1 Takım Aşınması

Talaş kaldırma prosesi sürekli temiz ve taze bir yüzeyin oluşması ve bunun yüksek basınç ve sıcaklık altında takım malzemesi üzerinde kaymaya zorlanması anlamına gelmektedir. Gerçekten talaş çok yüksek bir basınçla takım üzerine basmakta, talaşın akma sırasında takım yüzeylerinde büyük sürtünmeler meydana gelmektedir (sürtünme katsayısı 0.5'in üstünde ve 1'e yakın olarak). Gerek sürtünmelerden, gerekse malzemenin plastik şekil-değiştirmesinden ve talaş şeklinde kopmasından dolayı burada yüksek ısı oluşmaktadır. Kuvvet, basınç, gerilme ve sıcaklık şeklindeki tüm bu etkenler, belirli bir çalışma süresi sonunda takımın, başta aşınma olmak üzere, ağız kısmında kırılmalar ve takım ile parça arasında kimyasal reaksiyonlar gibi bir takım bozulmaları meydana getirmektedir.

Takım ağzında meydana gelen kırılma çok ufak parçacıklar şeklindedir. Bu olay meydana geldiğinde işlenen parça yüzeyi şiddetli bir şekilde bozulma gösterir ve işlem hemen durdurulur. Takımın parça malzemesi ile kimyasal reaksiyona girmesi veya ilgi göstermesi, takımın korozyon aşınması ve ayrıca takım ağzında, ağız birikintisi gibi olaylara neden olur.

Talaş kaldırma sırasında takımın şu aşınma tipleri meydana gelir [1-17,29-35]: Abrasyon, difüzyon, oksidasyon, yorulma ve adezyon aşınması.

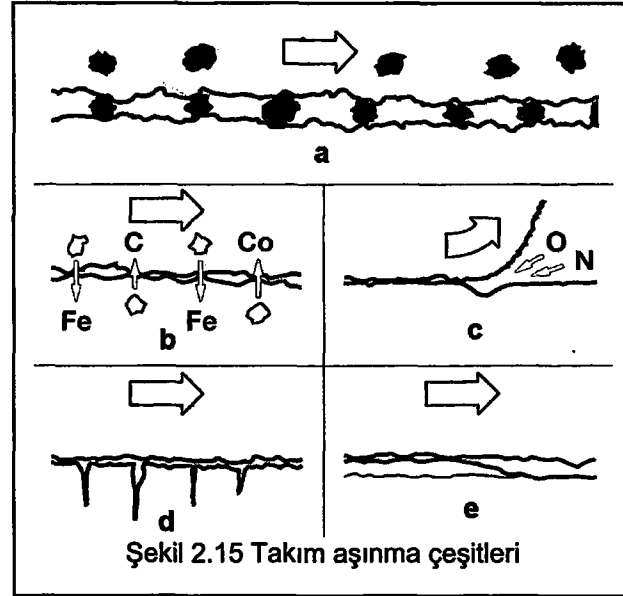
Abrasyon aşınması, genelde parça malzemesinde bulunan sert parçacıklar tarafından, taşlamaya benzeyen bir işlemle oluşturulan aşınma tipidir (Şekil 2.15a). Bu aşınma özellikle ağızdan başlayarak takımın serbest yüzeyinde meydana gelmektedir. Abrasyon aşınmasına karşı takım dayanımı, takım sertliği tarafından tayin edilir. Takım ne kadar sert olursa abrasyon aşınmaya karşı dayanımı da o kadar yüksek olur.

Difüzyon aşınması, bir yüzeyden diğerine atom transferleri ile gerçekleşir ve takım malzemesi ile arasındaki ilgiye bağlıdır (Şekil 2.15b). Talaş yüzeyinde krater (oyuk) şeklinde bir aşınma çeşidine neden olan bu aşınma, sıcaklığa önemli şekilde bağlıdır. Örnek olarak tungsten esaslı karbürler çeliğe karşı ilgilidir ve bu çeşit malzemelerde talaş yüzeyinde krater oluşmaktadır.

Oksidasyon aşınması, havanın etkisi ile yüksek kesme sıcaklığında meydana gelen ve yüzeylerde bir oksit tabakasının oluşması ile sonuçlanan bir aşınma çeşididir (Şekil 2.15c). Oluşan oksit tabakası kesme ağzında çok küçük çentikler meydana getirir. Çeşitli takım malzemeleri, çeşitli oksit tabakaları oluşturur. Örneğin tungsten ve kobalt, sürtünme ile kolay uzaklaştırılan gözenekli bir oksit tabakası oluşturur. Alüminyum oksidi çok kuvvetli ve serttir. Buna bağlı olarak bazı takım malzemeleri oksidasyon aşınmasına daha elverişli, bazıları değildir.

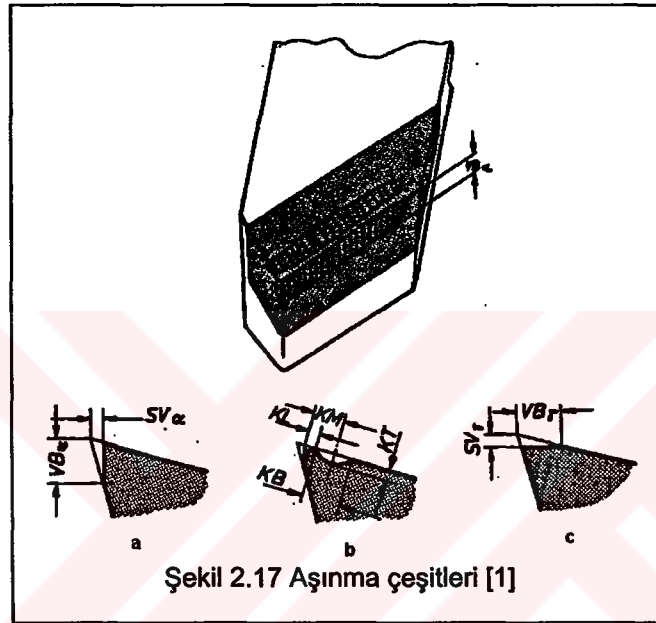
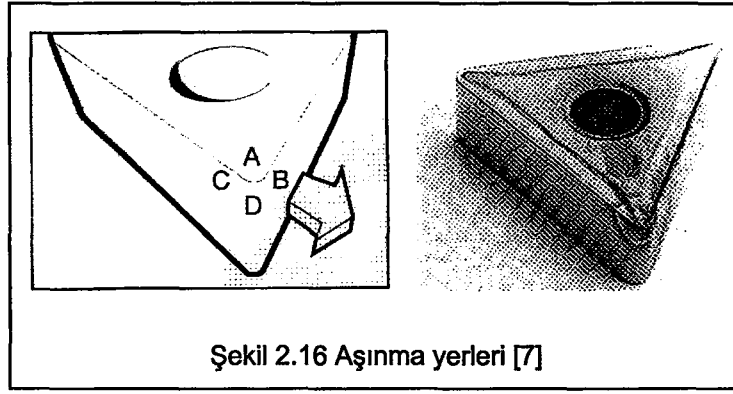
Yorulma aşınması, talaş kaldırma sırasındaki termik ve mekanik olayların etkisi ile meydana gelen bir çok bozulma olaylarını içermektedir (Şekil 2.15d). Sıcaklığın değişmesi ve kesintili kesmede takımın ısınması ve soğuması ile oluşan termik şoklar ve ayrıca yüzeylerin yüklenmesi ve boşaltılması, kesme ağzında çatlaklar ve kırılmalar meydana getirir. Ayrıca kuvvetlerin etkisi altında, ağızlarda parça şeklinde kırılmalara neden olan saf mekanik yorulma da meydana gelebilir. Özellikle bu durumlar, yüksek ilerleme hızlarında işlenen sert parça malzemelerinde meydana gelir. Bununla beraber yüksek sıcaklıklar ve basınçlar kesme ağzında plastik şekil-değiştirmeler meydana getirmektedir.

Adezyon aşınması, sürtünme halinde bulunan yüzeylerin arasında atomsal bağların oluşması ve bunların kopması ile birlikte yüzeylerden malzemenin kaldırılması şeklinde olur (Şekil 2.15e). Talaş kaldırmada takımla temasta bulunan talaş ve parça yüzeyi her zaman taze olduğundan ve ayrıca temas yüzeyleri büyük basınçlara zorlandıkları için burada yüzeyler arasında atomik bağlar oluşur ve bunların kopması sonucu takımda adezyon aşınması meydana gelir. Bu aşınma genelde serbest yüzey üzerinde ve özellikle çelik, alüminyum dökme demir gibi



sürekli ve kesikli talaş tipi veren malzemelerin işlenmesinde meydana gelir. Takım ağzında talaş birikintisinin oluşması adezyon aşınmasının bir sonucudur. Takımlarda aşınmalar (Şekil 2.16); talaş yüzeyi (A), serbest yüzeyi (B), yan serbest yüzeyi (C) ve takım ucu (D) gibi bölgelerde meydana gelir. Bununla beraber aşınmalar en çok takım ağzını da içeren serbest yüzeyde ve talaş yüzeyinde meydana gelmektedir (Şekil 2.17). Serbest yüzeydeki aşınmada adezyon aşınması etkilidir ve sürekli bir malzeme kaybı şeklinde gerçekleşir (Şekil 2.17a). Talaş yüzeyinde ise aşınma krater denilen bir oyuk şeklinde meydana gelir (Şekil 2.17b). Bu olayda adezyon ve difüzyon aşınması etkilidir. Ender de olsa talaş yüzeyinde saf adezyon aşınması da meydana gelebilir (Şekil 2.17c).

Aşınmanın ölçülmesi ile ilgili bazı standartlar vardır. Örneğin DIN standardına göre; serbest yüzeydeki aşınma (Şekil 2.17a): Aşınan bölgenin yüksekliği VB_{α} ve eni SV_{α} ; talaş yüzeyindeki krater ise (Şekil 2.17b): genişliği KB; derinliği KT; orta kısmından uca kadar olan uzaklık KM ve krater kenarından uca kadar olan uzaklık KL değerleri ile ölçülebilir. Pratikte bu değerlerin hepsi kullanılmamaktadır. Örneğin serbest yüzey aşınması genelde basitleştirilmiş şeklinde VB ile gösterilen sadece VB_{α} değeri ile ifade edilmektedir. Krater aşınması KT ve bazı durumlarda KB değeri ile açıklanmaktadır.



Yukarıda sıralanan aşınmaların etkileri şu şekilde özetlenebilir: Serbest yüzey aşınması: Yüzey kalitesinin bozulması ve toleransların tutturulamaması. Krater aşınması: Takım ucunun zayıflaması ve bazı durumlarda kopması. Yorulma aşınması: Yüzey kalitesinin bozulması ve takım ağzında ufak kırılmaların meydana gelmesi. Plastik şekil değiştirme: talaş kontrolünün bozulması, yüzey kalitesinin bozulması ve serbest yüzeyde aşınmanın hızlanması. Talaş birikintisi: yüzey kalitesinin bozulması ve ağzı terk ettiğinde, takımın ağzından parçacık alması.

Takım bakımından aşınma olayında etkili olan özellikler şu şekilde sıralanabilir: Sertlik, mukavemet/tokluk, kimyasal stabilite, termik difüzyon iletkenliği; termik genleşme; yüzeyin kimyasal bakımından etkisiz olması (inert).

2.3.2 Takım Ömrü

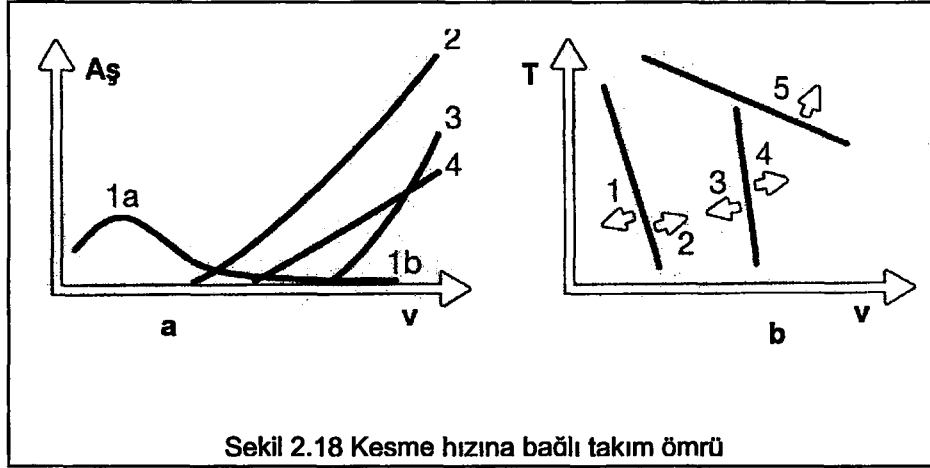
Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar, enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiğini gösterir ve körleninceye kadar toplam işleme zamanına takım ömrü denilir. Genel bir ifade ile takım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

Takım ömrü, çeşitli aşınmalar tarafından sınırlanmaktadır. Bu aşınma çeşitleri takım ömrünü tayin eden kriterleri oluşturmaktadır. Pratik bakımından takım ömrünü tayin eden en önemli kriter serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmadır. İkinci sırada krater aşınması meydana gelir. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınma kesme ağzından başlayarak kabul edilen bir VB_{em} aşınma değerine erişinceye kadar sürekli ilerlemektedir. Bu bakımından takım ömrü kabul edilen bir aşınma değerine bağlıdır.

Şimdiye kadar kabul edilen aşınma değeri ile ilgili bir standart yoktur. Bunun nedeni, kabul edilen aşınma değerinin bir çok faktöre bağlı olarak farklı, farklı değerlendirilmesidir. Bu husus şimdiye kadar açık bir şekilde tayin edilememiş ve çeşitli hallerde çeşitli kriterler kullanılmaktadır. Örneğin yüzey bozulması ele alınırsa, nihai talaş kaldırmada çok küçük aşınmalar dahi yüzey kalitesini bozabilir. Yüzey bozulma endişesi olmayan kaba talaşta; enerjinin artması, kesme ağzının talaş kontrol kabiliyetini kaybetmesi, titreşimler veya takımın kırılması gibi kriterler kullanılabilir. Örneğin yüzey kalitesi önemli olmayan kaba talaş kaldırmada kabul edilen aşınma değeri frezelemede 0.6...1.0 mm gibi oldukça yüksek olarak alınabilir. İnce talaş kaldırmada bu değer çok daha küçüktür; 0.25...0.4 mm olabilir.

Aşınma olayının gelişmesinde kesme hızın çok büyük etkisi vardır. Bu bakımından denilebilir ki, kesme hızı takım ömrünü etkileyen en önemli faktördür. Örneğin tungsten esaslı karbür takım malzemesi için kesme hızına bağlı çeşitli aşınma çeşitleri Şekil 2.18a'da verilmiştir. Burada 1- talaş birikintisi, 2- adezyon aşınması (serbest yüzey), 3-difüzyon aşınması (krater), 4- oksidasyon aşınması, 5- plastik şekil değiştirme'dir. Şekil 3.18a'da, kesme hızına bağlı olan çeşitli aşınma çeşitleri verilmiştir. Görüldüğü gibi ağız birikintisi düşük hızlarda (1a) meydana gelmekte ve sıcaklığın da büyük olduğu yüksek hızlarda kaybolmaktadır (1b). Şekil 2.18b'de takım ömrünü, kesme hızına bağlı olarak tayin eden çeşitli aşınma bölgeleri

verilmiştir. Aşınma bölgeler çizgilerle ayrılmıştır. Görüldüğü gibi oksidasyon aşınması ve plastik şekil değiştirme çok yüksek hızlarda meydana gelmektedir.



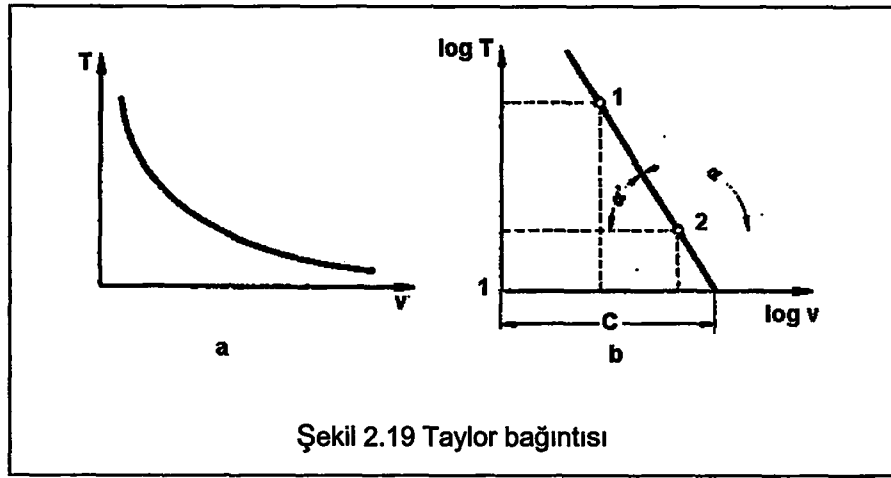
Takım ömrü ile ilgili ilk araştırma 1900...1908 arasında F. Taylor tarafından yapılmıştır. Bir atölyede mühendis olarak çalışan Taylor, prodüktiviteyi artırmak amacıyla iş organizasyonu, işleme zamanları ile ilgili çalışmaların yanı sıra talaş kaldırmada kesme hızlarını da deneysel olarak incelemiş ve ilkin kesme hızını a paso kalınlığı ve s ilerlemeye bağlı olarak

$$v = \frac{C \cdot \left[1 - \frac{0.72}{r^2} \right]}{\left[0,0394 \cdot s \right]^{\left(0,4 + \frac{2,12}{5 + 1,2 \cdot r} \right)} \cdot \left[\frac{1,5 \cdot a}{r} \right]^{\left(0,13 + 0,675 \cdot \sqrt{r} \right) \cdot \frac{r}{7,35 \cdot r + 1,88 \cdot a}}} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade etmiştir. Daha sonra takım ömrünü de dikkate alarak kesme hızı ve takım ömrü arasında, adını taşıyan

$$T \cdot v^k = C \quad (2.17)$$

bağıntıyı bulmuştur (Şekil 2.19a). Burada T- takım ömrü (dak), v-kesme hızı (m/dak), k- takım malzemesine bağlı olan bir sabite, C-yine takım ve parça malzemesine bağlı olan 1 dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızıdır. Bağıntı çift logaritmik koordinat sisteminde temsi edilirse bir doğru bulunur (Şekil 2.19b). Esasen geniş hız aralıklarında T-v bağıntısı Şekil 2.20'de gösterildiği gibi olup, (2.17) bağıntısı, belirli hız aralığında geçerli olmaktadır .



Şekil 2.19 Taylor bağıntısı

Esasen T-v doğrusunun eğimini gösteren k faktörü

$$k = -\tan \alpha = \frac{\log(T_1/T_2)}{\log(v_2/v_1)} \quad (2.18)$$

bağıntısı ile tayin edilir.

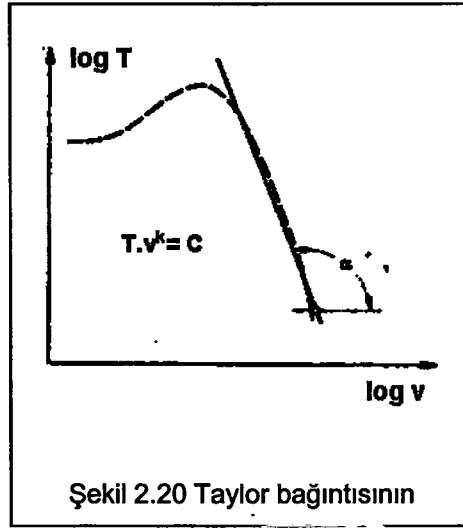
Taylor bağıntısı daha sonra takım ömrünü; a paso kalınlığı ve s ilerleme de etkilediği dikkate alınarak [1,5]

$$T = \frac{C_m}{v^k \cdot s^m \cdot a^p} \quad (2.19)$$

ve ayrıca parça malzeme sertliği de burada belirli bir rol oynadığı düşüncesi ile

$$T = \frac{C_m}{v^k \cdot s^m \cdot a^p \cdot H^n} \quad (2.20)$$

şeklinde genişletilmiştir. Burada $k < m < p$ takım malzemesine bağlı sabitelerdir. Örneğin HSS için ortalama olarak; $k=10$; $m=6$ ve $p=4$ dir. Bu demektir ki takım ömrünü en çok; kesme hızı, sonra ilerleme ve sonra paso kalınlığı etkilemektedir. Bu nedenle kaldırılan talaş hacmini büyütme için; ilkin paso kalınlığını, sonra ilerlemeyi ve en sonra kesme hızının büyütülmesi gerekir.

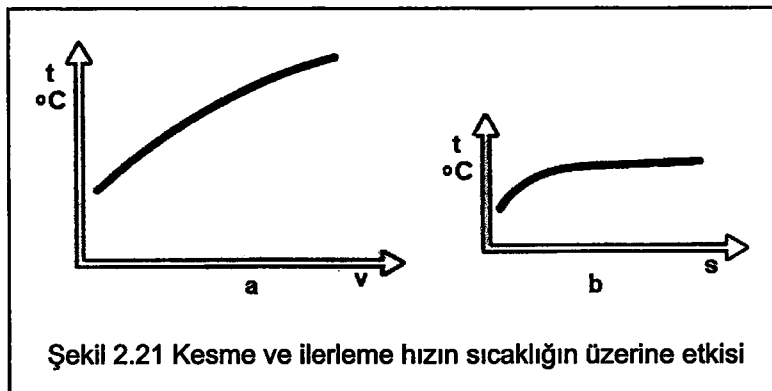


2.3.3 Talaş Kaldırma Prosesinde Isı

Kesme kuvvetleri için gereken mekanik enerjinin hemen hemen hepsi ısıya dönüşmektedir. Bu nedenle talaş kaldırmada, kesme kuvvetleri ve gücü, takım aşınması ve ömrü gibi faktörlerin yanı sıra, önemli bir faktör, ısı oluşumu ve kesme bölgesindeki sıcaklıktır. Isı ve sıcaklık, takım performansını ve parça kalitesini önemli şekilde etkilemektedir. Yüksek sıcaklık, takım ömrünü kısaltan ve kesme hızının sınırlayan faktörlerin en önemlisidir.

Isının büyük kısmı, kesme bölgesi, talaş yüzeyi ve kesme ağza yakın serbest yüzeyde meydana gelmektedir. Bu hususta yapılan incelemeler ısının [4,5,10, 12,13,30,36];

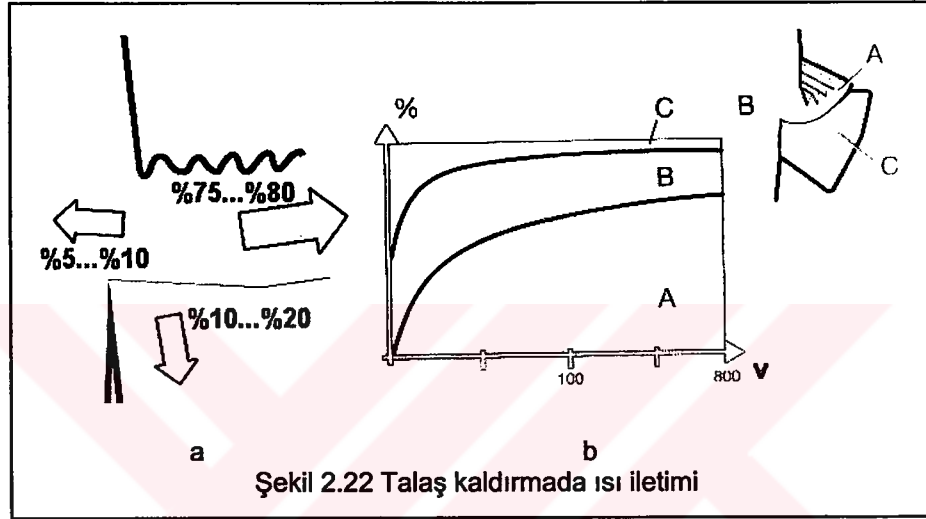
- Yaklaşık %80'i talaşın oluşması için mekanik şekil değiştirmelerden,
- %18'i talaşın takım yüzeyinde kaymasından ve
- %2'si takım ucunda meydana gelen olaylardan (talaş birikintisi) oluşur.



Kesme bölgesindeki sıcaklık; takım talaş teması, kesme kuvvetlerin büyüklüğü ve takım ile parça arasındaki sürtünme durumuna bağlıdır. Ayrıca burada kesme hızı önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 2.21a'da gösterildiği gibi, kesme hızın artması ile sıcaklık hızlı bir şekilde artmaktadır. İlerleme hızın etkisi çok daha azdır (Şekil 2.21b).

Oluşan ısının yaklaşık:

- %75...%80'ni talaş tarafından,
- %5...%10'u parçadan,
- %10...%20'si takımdan dışarıya atılmaktadır (Şekil 2.22a).



Şekil 2.22 Talaş kaldırmada ısı iletimi

Talaş kaldırmada meydana gelen ısının analitik olarak incelenmesi çeşitli yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Bunlardan en basiti sabit bir rejimde enerji denge denkleminin kullanılmasıdır. Kronenberg [4] literatürde talaş kaldırma sırasında oluşan ısı ile ilgili verilen çeşitli denklem ve deney sonuçlarına dayanarak, boyutsal analiz yöntemi kullanılarak , talaş kaldırma sıcaklığının değerini

$$\delta = \frac{C_0 \cdot k_s \cdot v^{2n} \cdot A_s^n}{\lambda^{2n} \cdot c_0^{1-2n}} \quad (2.30)$$

ve $n=0,22$ için

$$\delta = \frac{C_0 \cdot k_s \cdot v^{0.44} \cdot A_s^{0.22}}{\lambda^{0.44} \cdot c_0^{0.56}} \quad (2.31)$$

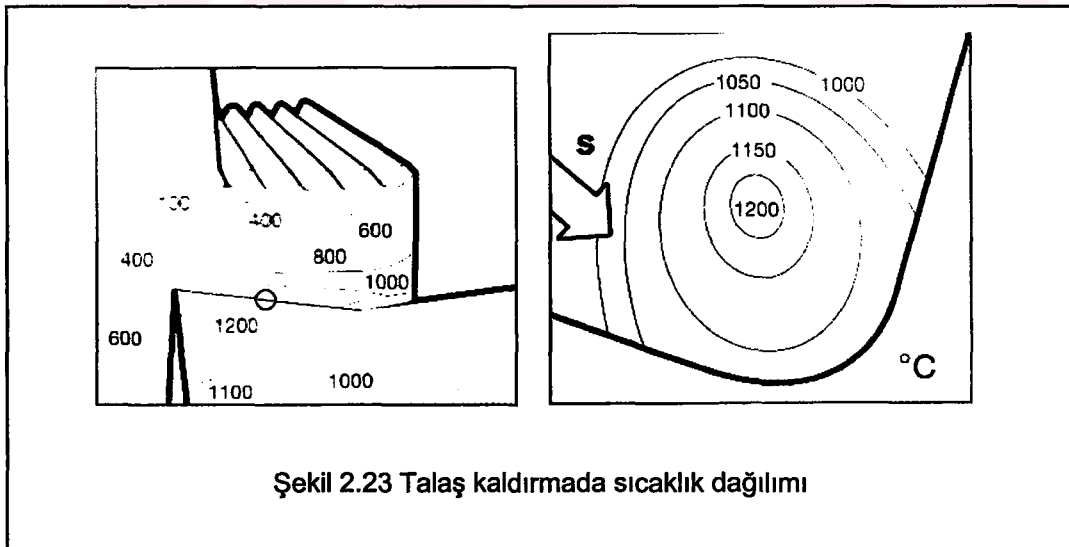
olarak bulmuştur. Burada: C_0 -kesme koşullarına bağlı bir sabite; k_s - birim kesme kuvveti; v -kesme hızı; A_s - talaş kesiti ($A_s=a.s$); λ - parça malzemesinin ısı iletim katsayısı; c_0 -parça malzemesinin özgül ısısıdır. Bu denklem tam olarak gerçeğe

yansıtmasa dahi, sıcaklığı etkileyen faktörlerin analizinin yapılmasında faydalı olmuştur. Buna göre:

- Kesme sıcaklığını, en çok birim kesme kuvveti yani parça malzemesinin kesme dayanımı etkilemektedir. Bu bakımından sıcaklık, birim kesme kuvveti ile direkt orantılıdır.
- İkinci sırada parça malzemesinin ısı iletkenliği ve özgül ısı gibi termik özellikleri gelmektedir. Bunlar ne kadar daha düşük olursa, sıcaklık daha yüksek olur. Buna göre düşük ısı iletim katsayısına ve özgül ısıya sahip malzemelerde, aynı kesme koşullarında sıcaklık daha yüksektir.
- Kesme hızı sıcaklığı, A_s talaş kesitinden daha çok etkilemektedir. Örneğin kesme hızı 2:1 oranında büyürse, sıcaklık $(2:1)^{0,44}=1,36$ yani % 36 oranında büyür. Talaş kesiti 2:1 oranında büyürse, sıcaklık sadece $(2:1)^{0,22}=1,17$ yani %17 büyür.

Literatürde yayınlanan verilere göre yapılan değerlendirmeye göre takım, talaş ve parça sıcaklıkları kesme hızına bağlı olarak Şekil 2.22b'de gösterildiği gibi değişmektedir.

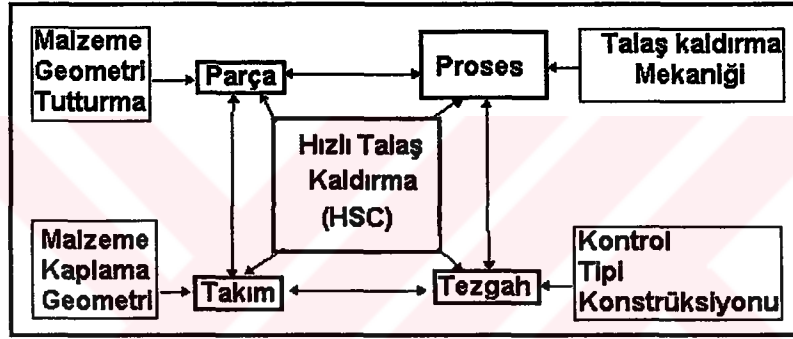
Görüldüğü gibi en yüksek sıcaklık takımdadır. Şekil 2.23'te belirli kesme koşullarında takım, parça ve talaştaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. En yüksek sıcaklık takımın talaş yüzeyinde, talaşın takımı terk etme noktasına yakın bir bölgede meydana gelmektedir. Genelde krater aşınması bu bölgeden oluşmaktadır.



3. HIZLI TALAŞ KALDIRMA SİSTEMİNİN ANALİZİ

3.1 ANALİZ FAKTÖRLERİ

Genelde talaş kaldırma olayı, “parça, takım, tezgah ve proses” olmak üzere dört faktöre bağlıdır (Şekil 3.1). Bu husus konvansiyonel sistemde de geçerlidir, ancak hızlı talaş kaldırmada daha çok önem taşımaktadır. Hızlı talaş kaldırma olayı, bu işlemi yapabilen uygun tezgah ve takım olmadan düşünülemez. Dolayısıyla hızlı talaş kaldırmada proses, tezgah ve takım bir bütün oluşturmaktadır.



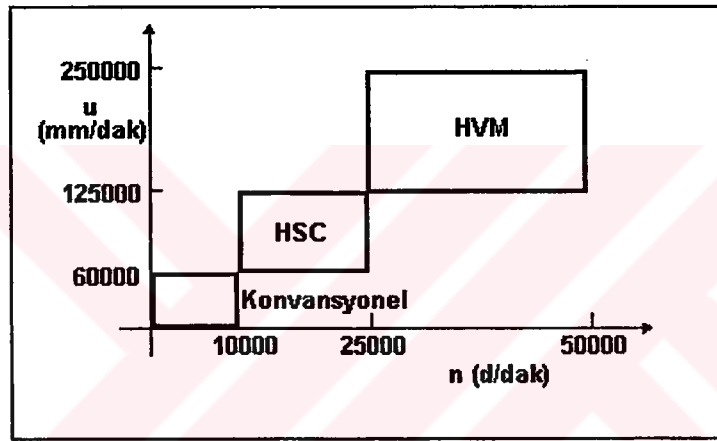
Şekil 3.1 Hızlı talaş kaldırmayı etkileyen faktörler

Hızlı talaş kaldıran tezgahlar, iş millerinin dönme ve kızakların ilerleme hızları ve konstrüksiyonları bakımından, hızlı talaş kaldırma yapabilecek durumda ve her şeyden önce CNC olmalıdırlar. CNC olmayan bir tezgah, günümüzde kabul edilen hızlı talaş kaldırma olayını yapabilecek durumda değildir. Bununla beraber, herhangi bir CNC tezgahı hızlı talaş kaldırma işlemini yapamaz. Ancak kontrol üniteleri bu işleme uygun olan tezgahlar hızlı talaş kaldırma yapabilirler. Kısaca hızlı talaş kaldıran tezgahlar, bu iş için özel olarak tasarlanmış tezgahlardır. Takım bakımından hızlı talaş kaldırma ancak sermet, CBN, PKD gibi yeni takım malzemeleri ve kaplamalı HSS, sermet ve CBN gibi takımlarla yapılabilir. Burada takım geometrisi de bu işleme uygun olması gerekir.

Buna göre hızlı talaş sistemleri birbirine uyum sağlayan tezgah, takım ve kontrol ünitesinden oluşan entegre bir sistemdir. Bu nedenle hızlı talaş kaldırma prosesini analize etmeden önce, bunun bir parçası olan hızlı talaş kaldıran tezgah ve takımları da analize edilmesi gerekir.

3.2 HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN AÇIKLANMASI VE AVANTAJLARI

Özellikle 1990'dan günümüze gelinceye kadar hızlı talaş kaldırma olayı, çeşitli şekilde yorumlanmıştır [37-44]. Başlangıçta bu deyim sadece iş milinin dönme hızına yani kesme hızına bağlı olarak kullanılmıştır. Daha sonra buna yüksek kesme, ilerleme hızları, boşta yüksek hızlı ilerleme hızları, yüksek ivmelenme ve yavaşlatma oranları, çok çabuk takım değiştirme zamanı ve tüm bunları ve takım ve tezgah dinamiğinin kontrolü gibi hususlar ilave edilmiştir. Bir çok incelemede hızlı talaş kaldırma işlemini; yüksek kesme hızda talaş kaldırma (HSC-High Speed Cutting) ve yüksek ilerleme hızda talaş kaldırma (HVM-High Velocity Machining) olarak ikiye ayırmakta ve hızlı talaş kaldırma (HSC) veya yüksek hızlı işleme (HVM)'nin sınırları Şekil 3-2' de gösterildiği gibi tayin edilmektedir.



Şekil 3.2 Tezgahların kesme (n) ve ilerleme (u) hızlarına bağlı olarak sınıflandırılması

Bizim düşüncemize göre böyle bir ayırım yapmaya gerek yoktur. Hızlı talaş kaldırma, konvansyonel talaş kaldırmanın bir alternatifi olarak ortaya çıkmıştır ve bu bakımından tümüyle açıklanması gerekir. Buna göre ilerleme hızını, kesme hızını, takım ve parça değiştirme zamanını ve tezgah dinamiğini, bugüne kadar alışılmış değerlerin çok üstünde kontrol edilebilen talaş kaldırma prosesine hızlı talaş kaldırma (HSC) veya yüksek hızlı işleme (HVM) denilir.

Bu açıklama genel bir açıklamadır ve bir takım sayısal değerlerle tamamlanması gerekir. Ancak bu değerler de, mutlak değil izafi olarak ve her şeyden önce parça malzemesi (çelik, dökme demir, alüminyum vb.), talaş kaldırma prosesi (tornalama, frezeleme, delik işleme vb.), uygulama alanı (normal talaş kaldırma, kalıp işleme, hassas işleme vb.) vb. gibi faktörlere bağlı olarak verilebilir.

1. Kesme hızları bakımından bugün kabul edilen bir husus, hızlı talaş kaldırmada kullanılan kesme hızları, konvansyonel kesmede kullanılanlardan 5...10 defa daha yüksek olmasıdır. Buna göre kesin bir sınır olmamakla beraber yaklaşık 10.000 d/dak (bazılarına göre 13.000 d/dak) dönme hızları konvansyonel talaş kaldırmanın üst sınırını oluşturmaktadır. Günümüzde hızlı talaş kaldırma tezgahlarında 50.000...60.000 d/dak'ya kadar hızlar kullanılmaktadır. Bununla beraber hassas işlem denilen alanlarda 100.000...130000 d/dak değerlere ulaşılmıştır. Ancak hızlar tezgah güçleri tarafından sınırlanmaktadır; güç artıkça hızlar azalmaktadır. Buna göre hız değerleri verildiğinde güç değeri de belirtilmesi gerekir. Örneğin, 30.000 d/dak 50 kW'ta gibi. Bu durum kısaltılmış olarak 30.000/50 veya 30/50 olarak ifade edilmektedir. [38]

Kalıp alanı ele alınırsa, kalıp malzemesi olarak kullanılan ve oldukça sert olan GG 35 CrMoV malzemesi CBN bir takım ile $v=1.000$ m/dak kesme hızı ve $s_z=0,35$ mm diş başına düşen ilerleme ile işlenmesi, hızlı talaş kaldırma sınırına girer. Bu değerlere $\phi=16$ mm bir takım için $n=30000$ d/dak dönme kesme hızı ve $u=10$ m/dak bir ilerleme hızı karşılık gelir. Diğer taraftan alüminyumdan yapılan bir gövdenin elmas uçla $v=10.000$ m/dak'da işlenmesi normal sayılır.

Bununla beraber her sınırın aşılması beraberinde başka problemler getirmektedir. Örneğin iş millerin dönme hızlarının belirli sınırlar üzerine çıkması, takım ve takım tutturma tertibatların, merkezkaç kuvvetlerine karşı dengelemesi gibi yeni bir işlem gerektirmektedir.

2. İlerleme hızları: Günümüzde 3 mikron hassasiyet ile 76.300 mm/dak (76,3 m/dak) ilerleme hızı yapan ve 1,5g ivmelenmeye sahip olan hızlı talaş kaldıran tezgahları vardır. Bu 35 mikron hassasiyet, 3.700...7.600 mm/dak ve 0.5g'ye sahip konvansyonel CNC'lere göre oldukça yüksek değerlerdir. Yüksek ivmelenme, işleme zamanını azaltmakla beraber, yüksek bir kesme hassasiyeti ve takımın boşta hareketlerini de azaltmaktadır.

İlerleme hızlarının büyümesi, kendiliğinden birim zamanında kaldırılan talaş hacmini büyötmektedir. Günümüzde hızlı talaş kaldırma ile alüminyum malzemesinde 5.735 cm³/dak bir talaş hacmi kaldırılmıştır . Hızlı talaş kaldırmada talaş daha hafif ve genişleme katsayısı daha büyüktür, konvansyonelde 5:1 iken burada 35:1 dir. [42]

Aslında hızlı talaş kaldırmanın esası, düşük ilerleme hızlarında kalın pasolu talaş kaldırmanın yerine, yüksek ilerleme hızlarında ince pasolarla talaş kaldırmaktır. Yani yavaş ve kalın talaş kaldırmanın yerine hızlı ince talaş kaldırmaktır. Bu şekilde

kaldırılan talaş hacmi artmakla beraber, işlenen yüzey kalitesi de iyileşmektedir.

3. Diğer kriterler: Bazı uygulama alanlarında sadece kesme ve ilerleme değerleri değil, parçanın toplam imalat zamanının azalması da, hızlı talaş kaldırma için bir kriter olabilir. Örneğin özellikle plastik malzemeler için kalıp imalatında, talaş kaldırmadan sonra, gereken yüzey kalitesini elde etmek için bir takım el işlemleri yapılmaktadır. Örnek olarak bir kalıbın talaş kaldırma zamanı 50 dak ve elle işlem 90 dak yani imalat zamanı 140 dak olduğu varsayılın. Bu kalıp hızlı talaş kaldırma ile işlendiği durumda, talaş kaldırma zamanı 20 dak'ya kadar indirilebilir. Ancak olay bu hususla sınırlı kalmamaktadır. Yüksek hızlı talaş kaldırmada daha yüksek bir yüzey kalitesi elde edilmekte ve dolayısıyla son yüzey kalitesine erişmek için sadece 30 dakikalık bir el işlemi gerektirir, yani hızlı talaş kaldırma ile işlendiği durumda kalıbın toplam imalat zamanı 90 dak yerine, 50 dak olur.

Diğer taraftan bilindiği gibi seri halinde üretilen, özellikle karmaşık parçalar dökme ve sonra talaş kaldırma ile işlenmektedir. Hızlı talaş kaldırma ile, özellikle alüminyumdan yapılan karbüratör gibi karmaşık parçalar, döküm yapılmadan direkt bloktan işlenebilmektedir. Bu şekilde zaman ve maliyet bakımından büyük tasarruflar sağlanmaktadır.

4. Hızlı talaş kaldırmanın avantajları ve mahsurları [37-44]: Şimdiye kadar yapılan açıklamalara göre hızlı talaş kaldırma yönteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- İşleme zamanı önemli şekilde azalmaktadır.
- Birim zamanda yüksek bir talaş hacmi kaldırılmaktadır.
- Aynı kesme güçleri için, kesme kuvvetlerinde bir azalma meydana getirmektedir.
- Kesme kuvvetlerinin azalması, parçada meydana gelen şekil değiştirmeleri azaltmakta ve örneğin çok ince cidar kalınlıklarına sahip alüminyum parçalar işlenebilmektedir. Bu husus uçak ve uzay sanayiinde büyük önem taşımaktadır.
- Yüksek ilerleme hızları, kaldırılan malzeme tabakasında çok hızlı bir ısınma meydana getirmektedir, bu ısınma malzeme tabakasını yumuşattığı için talaş kaldırmayı kolaylaştırmakta ve kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır.
- Yüzey kalitesi önemli ölçüde iyileşmektedir.
- Hızlı talaş kaldırmada ivmeleme ve yavaşlama zamanları çok küçüktür. İvmeleme ve yavaşlatma zamanlarının azalması, işleme doğruluğunu önemli bir şekilde artırmaktadır.

- Kalıp alanında çok küçük kesme strokları çok büyük hızlarda yapılabilir. Bu hem kaba, hem de ince işlemde geçerlidir. Kalıp işlenen CNC tezgahlar hakkında en büyük şikayet, kaba işlemlerin çok zaman almasıdır. Halbuki hızlı talaş kaldıran tezgahların bu özelliğinden dolayı, çapı küçük olan bir takım ile çok kısa bir zamanda kaba işlemleri yapılabilir. Ayrıca burada elde edilen yüzey kalitesi ile, yarı ince işlemlerine de gerek kalmamaktadır.

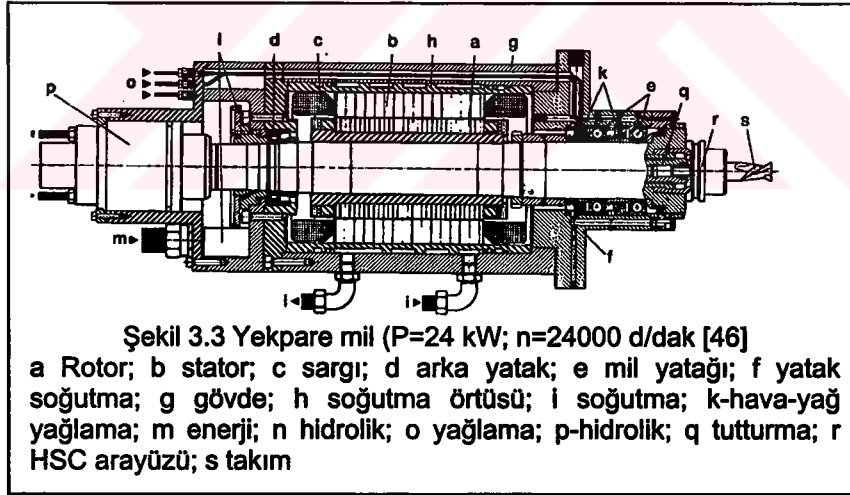
Bununla beraber hızlı talaş kaldırmanın şu sakıncaları vardır:

- Yüksek kesme hızlarında iş mili, takım ve takım tutturucuları önemli merkezkaç kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadırlar. Bu kuvvetler, işleme kalitesini ve doğruluğunu bozan titreşimlere, takımların iş milinden çıkmasına veya kırılmalarına neden olabilmektedir. Bu nedenle özellikle çok yüksek hızlarda çalışan iş mili, takım, takım tutturma sistemi, ek bir iş ve külfet getiren dengelemeye tabi tutulmaktadır.
- Hızlı talaş kaldırma, tezgahın yatak ve kızaklarında daha büyük miktarda ısı meydana getirmektedir. Bu ısı tezgah parçalarına özellikle gövdelerine gitmekte ve yine işleme kalitesini ve doğruluğunu olumsuz şekilde etkileyen, şekil değiştirmelere neden olmaktadır. Bu olayları gidermek için burada da, tezgah maliyetini yükselten ek önlemler alınmaktadır.
- Hızlı talaş kaldırma yöntemini sınırlayan bir başka olay, işleme kalitesini etkileyen titreşimlerdir. Titreşimlere karşı tezgah konstrüksiyonda önlemler alınmış olsa dahi, kesme koşullarının, takım şeklinin ve geometrisinin yanlış seçilmesi, titreşimlere neden olabilir.
- Fiyat bakımından hızlı talaş kaldıran tezgahlar konvansiyonel CNC tezgahlardan daha pahalıdır. Ancak yöntemin gelişmesi ve yaygınlaşması ile çok yakın bir gelecekte fiyatları konvansiyonel CNC tezgahların seviyesine düşecektir.

3.3 TAKIM TEZGAH ANALİZİ

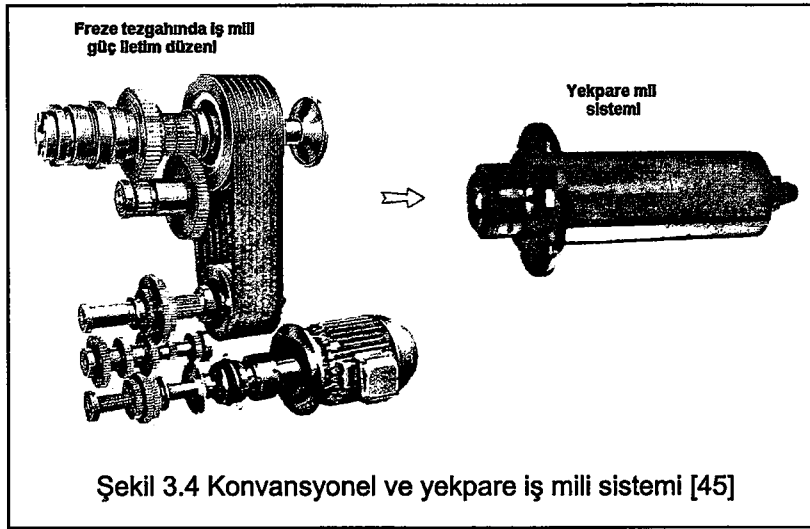
Hızlı talaş kaldırma olayı oldukça yeni olduğundan, burada tezin bütünlüğü açısından bu tezgahların konstrüksiyonu hakkında literatüre dayanarak [45-49] kısa bilgiler verilecektir.

Hızlı talaş kaldırma beraberinde, istenilmeyen termik etkiler, dinamik kuvvetler, kütsel kuvvetler ve konumlama kontrol sisteminden dolayı konturlama denilen eğrisel yüzeylerin işlenmesinde hatalar meydana getirmektedir. Bu nedenle konvansyonel CNC tezgahları bu çeşit talaş kaldırmaya pek uygun değildir. Uygun duruma getirilmeleri için iki yönde çalışmalar yürütölmektedir. Birincisi, mevcut CNC tezgahlarını hızlı talaş kaldırmaya elverişli duruma getirmek. Retrofit adını taşıyan bu uygulama tam bir çözüm değildir ve mevcut teknolojiye yapılan yatırımların ve tecrübelerin birden bire kaybolmasını önlemek için kullanılan geçici bir yöntemdir. İkincisi, hızlı talaş koşullarından hareket ederek, bu işe uygun yeni tezgah tasarımlarına gidilmektir. Yeni yatırımlar, deney ve tecrübe isteyen bu yöntem şimdilik bu tezgahları daha pahalı kılmakta, ancak zaman geçtikçe bunların fiyatı da normal seviyelere inecektir. Burada esasen hızlı talaş kaldırma için tasarlanmış tezgahların analizi yapılacaktır.



1.Yekpare iş milleri: Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında önemli bir yenilik servo motorla yekpare iş milleridir. Şekil 3.3 yekpare bir iş millinin konstrüksiyonu verilmiştir. Yekpare iş milleri konvansyonel sistemlere göre (Şekil 3.4):

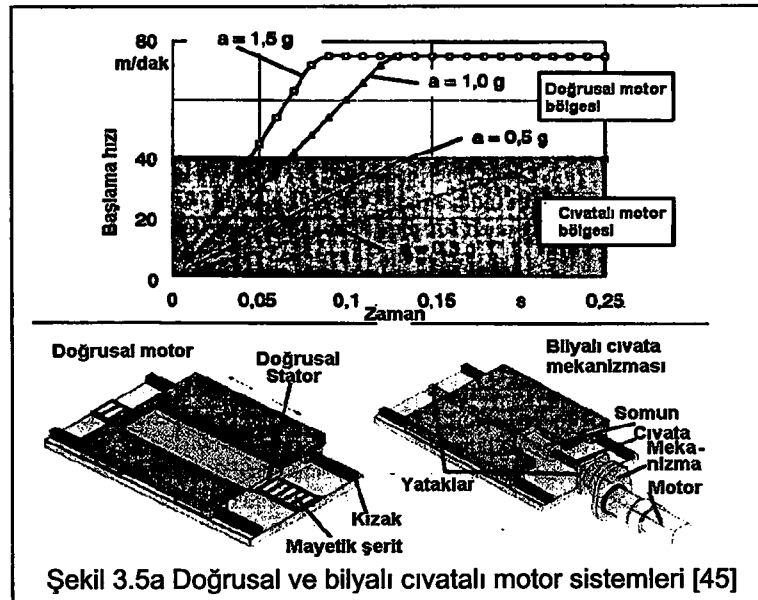
- Daha az yer tutmakta,
- Daha yüksek rijidliğe sahip olmakta,



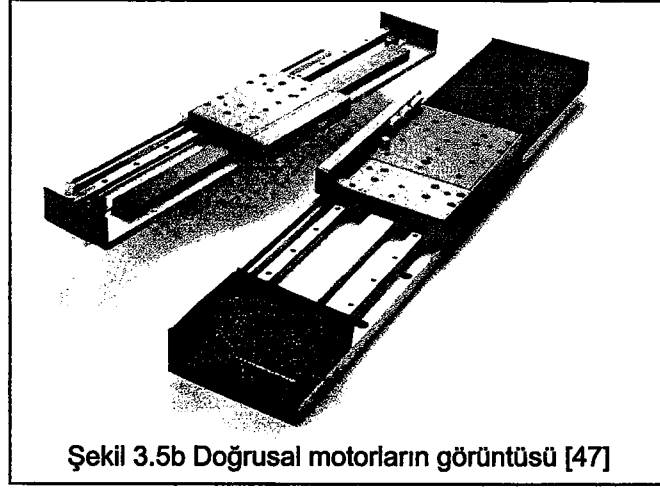
- Tornalarda C eksene göre işlemleri için daha elverişli olmakta,
- Harekete başlaması daha düzgün olmakta ve daha az gürültü yapmakta,
- Daha az parça sayısına sahip olmaktadır.

Bununla beraber bu iş millerinin bakımı daha pahalıdır ve düşük hızlarda çalışamazlar. Fiyatlarına gelince; imalat maliyetini, montaj maliyetini, rulman ve diğer parçaların maliyetini, yağlama ve soğutma sistemin maliyetini dikkate alan bir analiz, yekpare millerin konvansyonel millerden %30 daha ucuz olduğunu göstermiştir, burada yekpare iş millerinde parça sayısının daha az olması kesin bir rol oynamıştır.

2. Doğrusal ilerleme motorları: Bilindiği gibi klasik CNC tezgahlarında kızakların eksen yöndeki hareketleri için ilerleme motoruna bağlı olarak bilyalı civata mekanizması (vidalı mil) kullanılmaktadır (Şekil 3.5a), bu sistemlerle çok yüksek



ilerleme hızları sağlanamamaktadır. Burada esasen hızlı talaş kaldırmayı mümkün yapan yeni geliştirilmiş doğrusal ilerleme motorlarıdır. Bu motorlar, hızları çok büyük olmakla beraber, çok rijid ve çok hızlı geri besleme sistemi ile yüksek doğruluk sağlayan yapıtlardır (Şekil 3.5b)



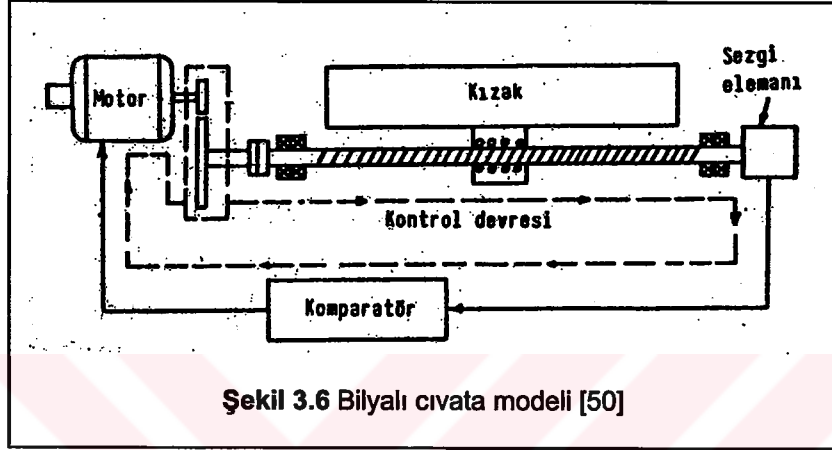
Şimdiye kadar motordan alınan enerjiyi doğrusal harekete dönüştürmek için mekanik, hidrolik ve pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Mekanik sistemler motordan alınan enerjiyi direkt değil de, motor+dönme hareketini doğrusal harekete dönüştüren civata veya kremayer mekanizması ile dolaylı olarak dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük avantajları rijid olmalarıdır. Hidrolik ve pnömatik sistemler direkt olarak motor enerjisini doğrusal harekete dönüştürebilirler. Ancak bu sistemler takım tezgahlarında rijidlik ve bazı durumlarda hız bakımından memnun edici bir sistem değildirler. Tüm bu sistemlerde sürtünme ve aşınma ve ayrıca mekanik sistemlerde parçalar arasını boşluklar, sistemin doğruluğunu ve hassasiyetini etkileyen olaylar vardır.

Doğrusal servo motorlar hızlı, rijid ve etkili sistemlerdir. Basit konstrüksiyona sahip olan bu motorlar; sargılardan oluşan statör ve kızaktan meydana gelmektedirler. Kızakların harekete geçmesi için gereken mekanik kuvvet, konvansyonel motorlarda olduğu gibi manyetik akımı ile sargılardaki elektrik akımının etkileşimi ile meydana gelmektedir. Bu mekanizmaların önemli bir özelliği ivmeleme oranları, konvansyonel sistemlere göre çok büyüktür. Ayrıca ivmeleme-yavaşlatma durumlarda önemli hataları meydana getiren boşlukları da yoktur.

Motorla civata arasında hareket iletimi bir dişli mekanizması ile yapılan Şekil 3.6'daki civata sistemi ile hareket eden bir konvansyonel CNC tezgahı ele alınırsa, bu sistemin ivmeleme zamanı [50]

$$t_{ak} = \frac{(I_{d1} + I_{rd2} + I_{rk} + I_{rc}) \cdot \omega}{M_{maks}} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada: I_{d1} -motor mili üzerinde bulunan dişlinin eylemsizlik momenti, I_{rd3} -civata mili üzerinde bulunan dişlinin motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti, I_{rd3} -civata mili üzerinde bulunan dişlinin motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti, I_{rk} -kızağın motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti, I_{rc} -civatanın motor miline indirgenmiş eylemsizlik momentidir.



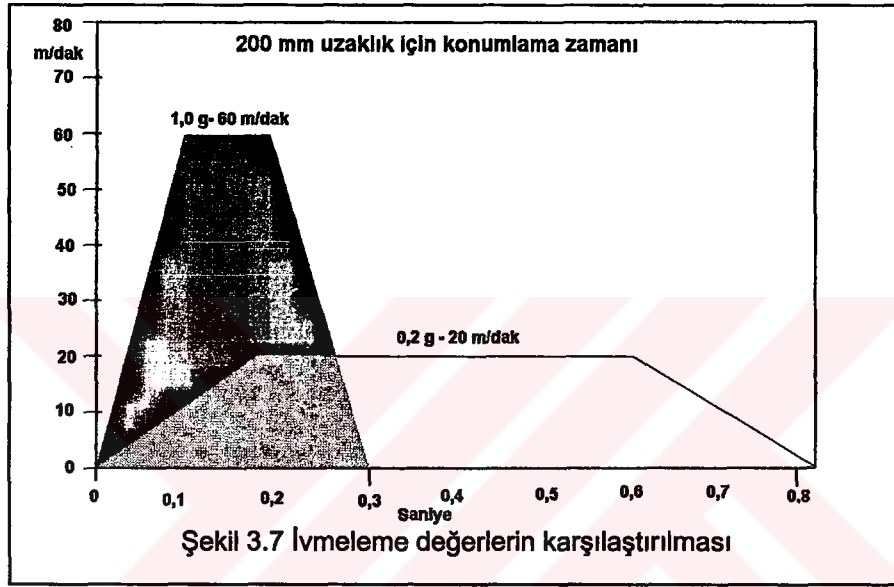
Doğrusal motorun ivmeleme zamanı ise

$$t_a = \frac{m_k \cdot v_k}{F_{maks}} \quad (3.2)$$

şeklinde. Burada m_k - kızıağın kütlesi ve v_k -hızıdır. Bu iki denklemin karşılaştırılmasından $m_k \ll (I_{d1} + I_{rd3} + I_{rk} + I_{rc})$ olduğundan doğrusal motorun t_a ivmeleme zamanı, konvansyonel sistemin ivmeleme zamanı t_{ak} 'dan çok daha küçüktür. İvmelemenin büyük yani ivmeleme zamanının küçük olması CNC sistemlerde büyük önem taşımaktadır. Her şeyden önce yüksek bir konumlama doğruluğu sağlar. CNC tezgahlarda konumlama, belirli bir noktada durma, yavaşlatma veya hızlanma anlamına gelir. Esasen, ivmeleme zamanındaki bir gecikme olduğu zaman, kızıağın konumu ile ilgili bir hata meydana gelir. İvmeleme zamanı t_a veya yavaşlatma zamanı t_b ne kadar daha büyük olursa hata o kadar daha büyük ve dolayısıyla sistemin doğruluğu ve hassasiyeti o kadar düşük olur. Bu açıklama basit bir şekilde de yorumlanabilir. Otomatik bir sistemde sinyallerin verilmesi ile, o sistem aniden harekete geçmez, sistemin yapısına bağlı ve konum hatalarına neden olan bir gecikme zamanı meydana gelir. Bu bakımından kontrol

ünitesinden gönderilen sinyallerle motor hemen harekete geçmez, aynı şekilde motorun harekete geçmesi ile kızak hemen harekete geçmez ve harekete geçtikten sonra, nominal hıza ulaşması için belirli bir zaman daha geçer. Buna bağlı olarak bu zaman ne kadar daha küçükse, konum hataları da o kadar daha az olacaktır.

Şekil 3.7'de, 200 mm bir işlem uzaklığı için; ilerleme hızı 60 m/dak ve ivmelemesi 1.0g olan bir CNC sistemi ile, ilerleme hızı 20 m/dak ve ivmelemesi 0.2g olan konvansiyonel bir CNC tezgahı ile karşılaştırılmıştır. Hızlı CNC tezgahı bu işlemi 0.3 saniyede, konvansiyonel CNC ise 0,8 saniyede, yani $0,8/0,3=2.67$ defa daha çabuk yapmaktadır.



Özetlenirse doğrusal motorların önemli avantajları şu şekilde sıralanır:

- Büyük bir konumlama doğruluğu ve oldukça büyük stroklar,
- Yüksek rijidlik,
- Daha az kütleli eylemsizlik momentleri,
- Yüksek ivmeleme ve yavaşlatma kabiliyeti,
- Daha az parça,
- Daha az aşınma,
- Daha uzun ömür.

Doğrusal servo motorların sakıncaları: pahalı olmaları, daha çok enerji yaymaları (disipation), motordan tezgah kızaklarına daha çok ısı iletmeleridir.

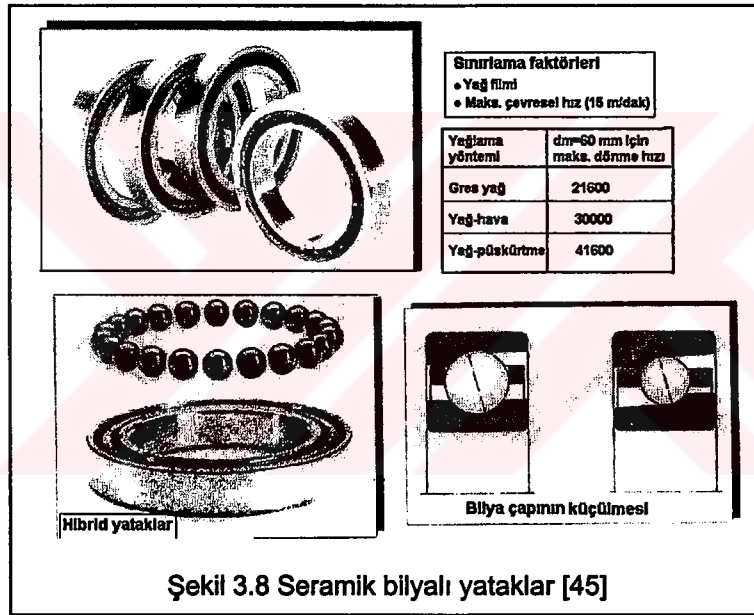
Doğrusal servo motorlarda ilerleme hızı $u=30$ m/s ve ivmeleme $a=40$ m/s²'ye ulaşmıştır.

3. Tezgah kızakları ve yatakları. Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında önemli bir gelişme tezgah kızakları ile ilgilidir. Bu hususta şimdiye kadar sırasıyla; sertleştirilmiş ve taşlanmış, sert metal ile kaplanmış, plastik malzemelerle kaplanmış ve hidrostatik kızaklar uygulanmıştır. Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında en iyi çözüm olarak kaymalı ve hidrostatik kızakların yerini yuvarlanmalı kızaklar almaya başlamıştır (Şekil 3.8). Kaymalı kızaklara göre bu kızaklar: çok düşük sürtünme, kısa stroklarda çok hassas hareket, dur-kay (stick-slip) olayının olmayışı, daha düşük fiyat gibi özelliklere sahiptirler. Sürtünmenin düşük olması, daha az enerjinin kaybolması ve tezgah gövdesine daha az ısının iletilmesi anlamına gelmektedir. Benzer özelliklere sahip olan hidrostatik kızaklara göre yuvarlanmalı kızaklar daha basit, montajları çok daha kolay ve daha ucuzdurlar. Bununla beraber yuvarlanmalı kızakların ömürleri diğerlerine göre daha kısa ve sönümlenme kabiliyetleri daha düşüktür.

Yuvarlanmalı kızaklar, bilyalı veya rulolu olabilir ve X veya O şeklinde monte edilebilir. Bilyalı elemanların temas yüzeyleri noktasal, rulolu elemanlarınki ise doğrusaldır. Bu nedenle bilyalı sistemler, rulolu sistemlere göre daha az yük taşıyabilirler ve rijidlikleri daha düşüktür. Bununla beraber bilyalı elemanların geometrik doğruluğu, rulolu elemanlarına göre daha büyüktür. Yuvarlanmalı yatakların sönümlenme kabiliyetleri düşük olduğu için bunlara bir sönümlenme tertibatı ilave edilebilir. Ancak bu sistem fiyatı yükseltmekle beraber sadece rezonans frekansında etkilidir. Geometrik doğruluğa bağlı olarak bilyalı kızaklar, rulolu kızaklara göre daha yüksek hareket doğruluğuna sahiptirler.

Takım Tezgahların davranışını önemli şekilde etkileyen bir başka husus, özellikle iş milin yataklama sistemidir. Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında yatak olarak günümüzde sadece yuvarlanmalı yataklar kullanılmaktadır. Burada önemli bir problem bu yatakların sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özelliklerini iyileştirmek olmuştur. Sürtünme problemi büyük ölçüde yağ tipine ve miktarına bağlıdır. Bu hususta yapılan araştırmalar, belirli bir yağ tipi için minimum sürtünme, yüzeyleri birbirinden ayıran minimum bir yağ tabakasına karşılık gelmektedir. Yağ miktarı büyüdükçe, sürtünme belirgin bir şekilde büyümektedir. Burada problem yüzeyleri birbirinden ayıran minimum yağ tabakasını tayin etmek ve bu tabaka için gereken yağ miktarını temas yerine ulaştırmaktır. Bu hususta araştırmalara devam etmekle beraber yağlama yöntemi bakımından en uygun yöntem olarak, kapalı devre şeklindeki hava yağ karışımı kullanılmaktadır (Şekil 3.4a).

Aşınmayı azaltmak için sürdürülen çalışmalara göre, en iyi yöntemin, Hertz teması şeklinde olan temas yüzeyinde farklı malzemelerin kullanılması olmuştur. Bu hususta çelik yol üzerinde çalışan seramik bilyalar veya karbürle kaplanmış yollar üzerinde çalışan çelik bilyalar kullanılmaktadır. Hibrid adını taşıyan bu rulmanlardan en çok kullanılanı seramik bilyalı olanlarıdır (Şekil 3.8). Bu hususta aşağıdaki koşullarda yapılan deneyler ile, seramik bilyalı rulmanların üstünlüğü gösterilmiştir. Birisi konvansyonel ve diğeri seramik bilyalı iki rulman $n=10000$ d/dak ve hava-yağ karışımı yağlama ile 48 saat çalıştırılmış ve sonra birdenbire, yağlama durdurulmuştur. Her iki rulman hiç bir bozulma göstermeden 100 saat daha çalışmıştır. Dönme hızı $n=14000$ d/dak'ya yükseltilmiş ve 48 saatten sonra yağlama kesildiğinde, konvansyonel yatak tamamen işe yaramaz duruma gelmiş, seramik bilyalı rulman ise 58 saat daha çalışmıştır. Ayrıca konvansyonel rulmanda yüzeylerin tamamen bozulduğu, seramik yatakta ise önemli bir etki olmadığı gözlenmiştir.



Seramik bilyaların daireselliği, çelik bilyalarınkinden daha iyi; bunlar daha rijid ve dolayısıyla daha az şekil değiştirme gösterirler. Ayrıca malzemeleri hafiftir ve termik bakımından çok daha stabildir. Kısaca yapılan araştırmalara göre:

- Rulman yoğunluğu %60 kadar az olduğu için merkezkaç kuvvetleri düşüktür.
- Rijidliği yükselten %50 daha yüksek bir E modülüne sahiptirler.
- %20 daha düşük sıcaklık genişlemelerine sahiptirler.
- Aşınmayı, güç kaybını ve ısı oluşumunu azaltan çok düşük sürtünmelere sahiptir.

Rulmanlı yatakların yanı sıra, hızlı talaş kaldıran tezgahlarda manyetik ve aerostatik yataklar kullanma eğilimleri vardır. Sürtünme ve titreşimlere karşı davranışları çok iyi

olan ve çok büyük hızlarda (13000...130000 d/dak) kullanılabilen bu yatakların yük taşıma kabiliyeti çok düşük olmakla beraber fiyatları da yüksektir. Bu nedenle bu yataklar çok özel, örneğin çok hassas işlemler yapan tezgahlarda kullanılır

4. Tezgah Konstrüksiyonu. Tezgah konstrüksiyonu ile ilgili bir husus, düşük kütleli momentleri-yüksek rijitlik ikilemini çözmek olmuştur. Yüksek ivmelenmelerde $m \cdot a$ (kütle x ivme) bağıntısı gereğince yüksek güç isteyen büyük kütleli momentler meydana gelmektedir. Bunların azaltılması kütlelerin azaltılması ile mümkündür, ancak bu çözüm mekanik sistemin rijitliğini azaltmaktadır. Bu da tezgahın titreşime karşı davranışını zayıflatmaktadır. Bu çelişkileri bertaraf etmek için çeşitli konstrüksiyon çözümleri yanı sıra, çelikten daha hafif olan ancak aynı rijidliğe sahip olan Al-Ti alaşımları ve özellikle tezgah gövdelerinde kuvvetlendirilmiş kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Konstrüksiyon çözümü olarak FEA analiz sistemine dayanarak, mukavemet ve rijitliği yükselten ancak malzemeyi azaltan optimum şekiller yoluna gidilmiştir.

Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında dikkati çeken bir başka husus, bunların çalışmalarını kontrol etmek ve bazı aksaklıkları gidermek için sezgi elemanlarıyla (sensör) entegre edilmesidir. Bu hususta rulman ve kızakların çalışmalarını kontrol eden sezgi elemanları yanı sıra, prosesi ve gürültüyü, ayrıca sıcaklığı ve ayrıca kesme momentini, kesme kuvvetini kontrol eden sezgi elemanları da kullanılmaktadır. Bu faktörlerin ölçülmesi ile elde edilen sinyaller, bir bilgisayara gönderilmekte ve burada kesme sırasında çeşitli, örneğin takımın aşınması veya kırılması gibi olaylar takip edilmektedir.

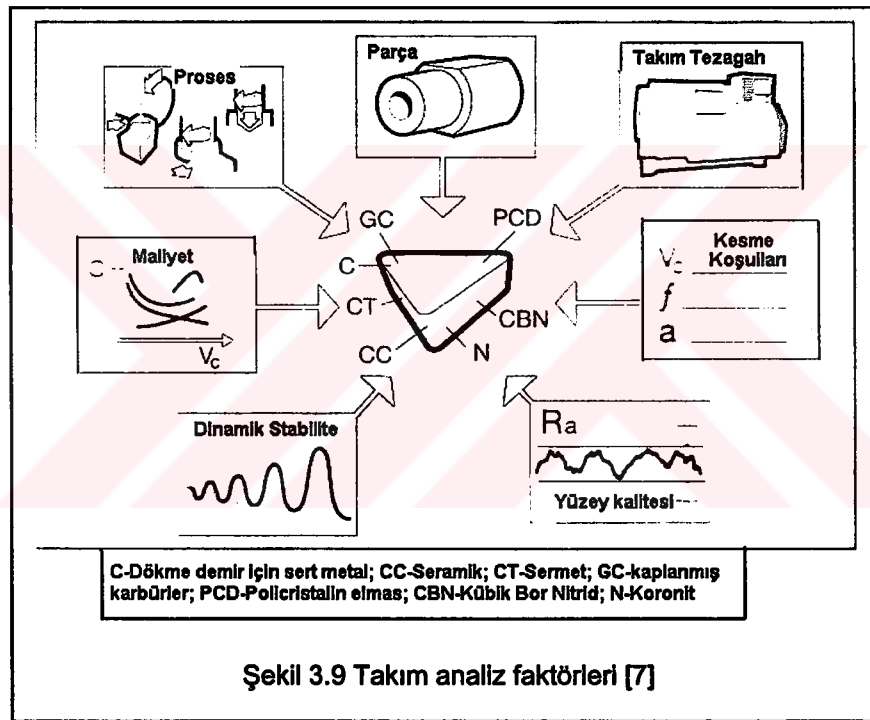
Hızlı talaş kaldırma tezgahlarında önemli bir konu oldukça yüksek değerlere ulaşan sıcaklıktır. Bu sıcaklık tezgah parçalarında, bunun doğruluğunu etkileyen termik şekil değiştirmeler meydana getirmektedir. Bunu telafi etme yollarından biri, tezgahın çeşitli yerlerinde sıcaklığı ölçen sezgi elemanları yerleştirmektir. Burada ilkin ölçülen sıcaklık ile doğruluğu etkileyen parçalarda şekil değiştirmeler tayin edilmekte ve bir bilgisayarın yardımıyla bunların arasında denklem şeklinde bir bağıntı kurulmaktadır. Daha sonra bu bağlantıya dayanarak çeşitli sıcaklıklarda meydana gelen şekil değiştirmeler hesaplanmakta ve buna göre tezgahın kontrol ünitesine telafi değerleri girilmektedir. Telafi değerlerinden emin olunduğu durumlarda bunlar direkt olarak tezgahın kontrol sistemine entegre edilmektedir.

3.4 TAKIM ANALİZİ

3.4.1 Analiz Esasları

Hızlı talaş kaldırma yöntemin meydana gelmesinde, gerek takım malzemesi, gerekse takım konstrüksiyonu alanındaki gelişmeler büyük rol oynamıştır. Bu nedenle bu alandaki gelişmelere kısaca göz atmakta yarar vardır [7,51-56].

Hızlı talaş kaldırmada takım konusunu analize ederken konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi sadece takım malzemesinin seçimi değil; operasyon, parça şekli ve malzemesi, takım tezgahı, kesme verileri, istenilen yüzey kalitesi, genel kararlılık, işleme maliyeti gibi faktörlere bağlı olarak takım geometrisini, takım malzemesini, takım gövdesinin konstrüksiyonunu, tutturucu ve tutturma sistemini, uçların



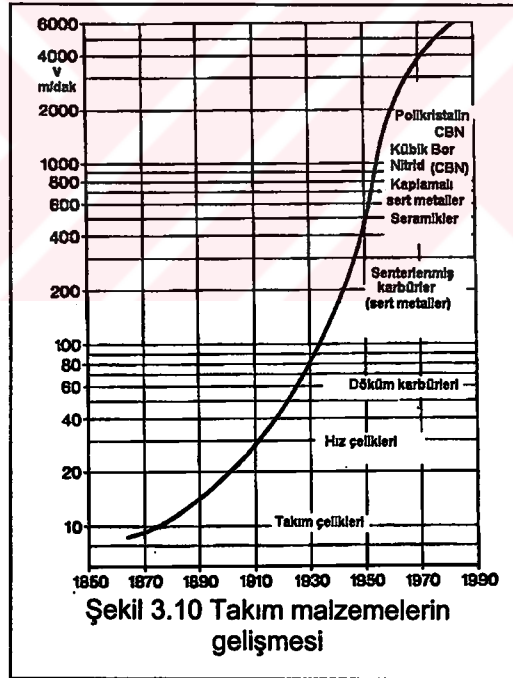
Şekil 3.9 Takım analiz faktörleri [7]

değiştirme sistemi ve zamanını, takımın değiştirme sistemi ve zamanı birlikte ele alınması gerekir (Şekil 3.9).

Burada bu faktörlerin en önemlileri ele alınırsa, operasyon faktörü: kaba veya ince talaş, işleme payları, sürekli ve kesintili talaş kaldırma, parça faktörü: malzeme çeşidi, yapısı, sertliği, mukavemeti, yüzey durumu gibi faktörleri içermektedir. Tezgah faktörü bakımından durumu, tipi, gücü, rijidliği, hız ve ilerleme kabiliyeti, parça ve takım bağlama sistemi önemlidir. Burada esas amaç kesme zamanını azaltmak ve takım ömrünü yükseltmektir.

1. Takım malzemelerine genel bir bakış. Takımlarla ilgili analizde ilkin takım malzeme grupları gelmektedir. Geçmişten günümüze kadar sırasıyla: karbon çelikleri, hız çelikleri (1900), sert dökümler (stelitler) (1930), karbürler (sert metaller, HM) (1935), çözülebilen karbür uçları (1950), seramikler (CC) (1953), sentetik elmas (1958), iyileştirilmiş karbürler (1960), sermetler (1964), kaplanmış karbürler (1970), polikristalin elmas (PCD) (1975), kubik bor nitrid (CBN) (1980), çok tabakalı kaplanmış karbürler (1980) ve çok tabakalı kaplanmış takım malzemeleri (1990) gibi takım malzemeleri kullanılmıştır (Şekil 3.10).

Günümüzde kullanılan takım malzemeleri; hız çeliği (HSS), karbür esasına dayanan sert metaller, seramikler, sermetler, kubik bor nitrit (CBN) ve polikristalin elmas (PCD) olmak üzere altı gruba ayrılırlar. Takım malzeme gelişmelerin önemini vurgulamak amacı ile şu örnek verilebilir. Karbon çelik takım malzemesi ile 100 dakikada yapılan bir işlem, HSS ile 36 dakikada, karbür takım malzemeleri ile 6 dakikada ve CBN ile 1 dakikadan daha az bir zamanda yapılmaktadır. Bu kadar çeşit takım malzemesinin bulunması, günümüzde belirli bir parça malzemesini en iyi işleyen bir takım malzemesi vardır.



Hız çelikleri %1,3 ...%19 arasında wolfram (W) ve % 4 krom içeren yüksek alaşımlı çeliklerdir. Çelik için kesme hızı $v=30\ldots40$ m/dak, sertliği 63...63 RC ve çalışma sıcaklığı $\leq 600^{\circ}\text{C}$ dır.

Karbürler (sert metaller), bağlayıcı malzemeleri kobalt (Co) olan; tungsten karbürü

(WC), tıtan karbürü (TiC) ve tantal karbüründen (TaC) sinterleme yolu ile elde edilen takım malzemeleridir. Bu malzemeler 87...93 RA sertliğine, $v=80...300$ m/dak kesme hızına ve $900^0...1000^0$ C alışma sıcaklığına sahiptirler.

Seramikler yaklaşık % 99,7 saflığına sahip alüminyum oksidi (Al_3O_3) içeren takım malzemeleridir. Bu malzemelerin sertliğini 87...93 RA, kesme hızını $v=80...300$ m/dak ve çalışma sıcaklığına $900^0...1000^0$ C dır.

Sermetler Al_3O_3 ile WC, TiC gibi metalik karbürlerin karışımıdır.

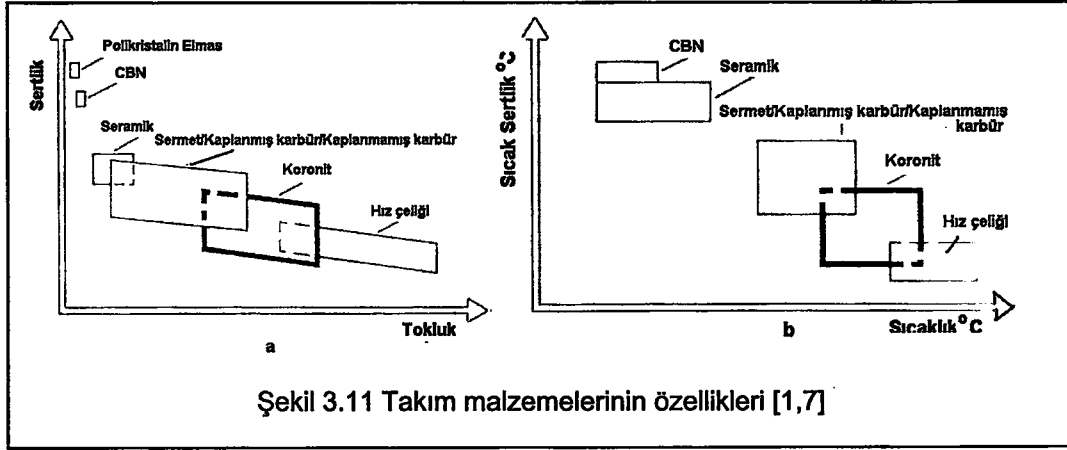
Kübik Bor Nitrid (CBN) abrazif bir malzemedir. Genelde daha önce taşlama için kullanılan bu malzeme günümüzde talaş boyutları belli olan tornalama, frezeleme ve delik işleme gibi talaş kaldırma alanında da kullanılmaktadır.

Elmas en sert malzeme olup günümüzde polikristalin şeklinde (PCD) özel işlemlerde kullanılmaktadır.

Hızlı talaş kaldırmada takım malzemeleri ile ilgili üç özellik önem taşımaktadır. Bunlar; aşınma dayanımını, kırılma dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini ve kimyasal stabilitesini korumasıdır. Aşınma dayanımı malzemenin sertliği, kırılma dayanımı malzemenin tokluğu ile ilgilidir. Yüksek sıcaklıklarda malzemelerin sertlikleri koruma özelliğine sıcak sertlik denilir.

Sertlik takımın ömrünü, tokluk ise eğilme mukavemetini yani kırılma direncini ifade etmektedir. Ancak yukarıda açıklanan takım malzemelerinde sertlik ve tokluk birbirine göre terstir. şekil 3.11a 'da takım malzemelerin sertliklerine yani aşınma dayanımına ve tokluğa göre yerleri verilmiştir. En sert takım malzemesi olan elmas en düşük tokluğa sahiptir. Burada şu hususu belirtmekte yarar vardır. Genelde takım malzemelerin toklukları, oda sıcaklığında ölçülen eğilme dayanımı ile ifade edilmektedir. Ancak oda sıcaklığında ölçülen bu değerler, yüksek sıcaklıkların olduğu talaş kaldırma sırasında ne derece geçerli olduğu konusu henüz aydınlatılamamıştır.

Sıcak sertlik, hızlı talaş kaldırmada önem taşıyan bir başka faktördür. şekil 3.11b 'de günümüzde en çok kullanılan takım malzemelerini sıcak sertlik bakımından konumları verilmiştir. Görüldüğu gibi en yüksek sıcak sertliğine CBN malzemesi sahiptir. Onu seramikler takip etmektedir.



Şekil 3.11 Takım malzemelerinin özellikleri [1,7]

Neticede günümüzde takım malzemelerinden istenilen:

- Aşınmaya ve şekil değiştirmeye dayanıklı olması için yüksek sertlik,
- Kırılma özellikle darbe kırılmalarına karşı yüksek tokluk,
- Parçaya göre kimyasal tarafsızlık,
- Oksidasyona dayanıklı olması için kimyasal bakımından stabil olması,
- Yüksek sıcak sertliğine sahip ve termik darbelere karşı dayanıklı olmasıdır.

2. Takım malzemelerinin gelişme esasları. Takımların gelişmesi, aynı anda hem sertliği hem tokluğu artırmak yönünde olmuştur. Yukarıda da açıklandığı gibi sertlik takımın aşınma direncini ve dolayısıyla takım ömrünü yükselten bir husus olmakla beraber malzemeyi daha kırılgan, yani darbelere daha az dayanıklı yapmaktadır. Bu nedenle takım malzemelerinin tokluğunu arttırmak darbelere karşı dayanımını arttırmak demektir. Tokluk özellikle kaba frezelemede olduğu gibi kesintili kesme işlemlerinde daha önemlidir. Bu hususta gelişmeler, tanecik boyutların küçültülmesi ve kaplamalar olmak üzere iki yönde olmuştur.

a. Tanecik boyutlarının küçültülmesi. Karbür esasına dayanan sert metal takımlarının, karbür tanecikleri boyutlarının mikron ve mikron altı seviyesine indirmek yönünde olmuştur; bunlara çok ince veya mikron altı tanecikler denilmektedir. Bu hususta yapılan incelemelere göre WC-Co alaşımı ele alınırsa; standart yapılı WC'nin sertliği HV30=1580 ve eğilme mukavemeti 3000 N/mm² iken, kristal boyutu 1 µm olan WC sertliği 1780 ve eğilme mukavemeti 3400 N/mm³ ve boyutu 0.5 µm olanın sertliği 3000 ve eğilme mukavemeti 4300 N/mm³ olmuştur. Buna bağlı olarak standart takıma göre, mikron taneli takımın ömrü yaklaşık 8 kat ve alt mikron takımın ömrü 14 kat büyümüştür.

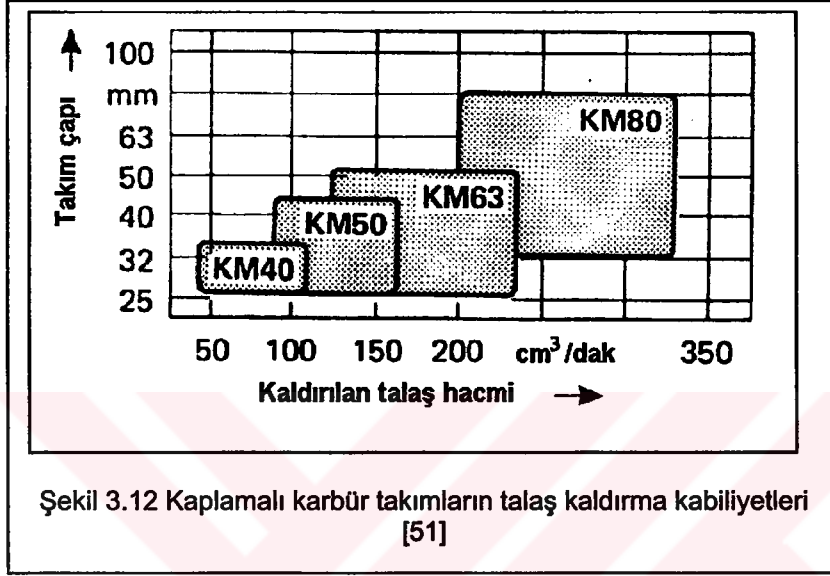
b. Kaplamalı karbürler. Günümüzde HSS, karbür ve sermet takım malzemeler üzerine kaplamalar geniş çapta uygulanmaktadır. Yöntem olarak kaplamalar kimyasal denilen CVD (Chemical Vapor Deposition) ve fiziksel denilen PVD (Physical Vapor Deposition) olmak üzere iki gruba ayrılır. Ayrıca PVD yönteminde: iyon destekli, iyon implantasyon sistemleri de geliştirilmiştir. İyon destekli yönteminde, iyonlar kaplanacak yüzeyi, aktive ederler, şöyle ki kaplama malzemesi yüzeye daha kuvvetli bağlanır. Kaplamalarla ilgili şu hususlar önem taşımaktadır:

- Kaplama sırasında karbür tabakaları, kaplama prosesinden ne kadar daha az etkilenirse takımın tokluğu o kadar yüksek olur.
- Kaplama sıcaklığının büyümesi, kaplama tabakasının özelliklerini iyileştirir, ancak kaplama altındaki tabakaları da daha çok etkileyerek tokluğu azaltır.
- Kaplama içindeki basma gerilmelerin tokluk üzerine pozitif bir etkisi vardır.

İlk kaplama yöntemi olan CVD; (a) Yüksek sıcaklıkta CVD (HT-CVD), $t=1000^{\circ}\text{C}$, (b) orta sıcaklıkta CVD (MT-CVD), $t=700\ldots900^{\circ}\text{C}$, (c) plazma CVD kaplama (PCVD=, $t=5000^{\circ}\text{C}$ olmak üzere üç gruba ayrılır. HT-CVD'in önemli özelliği düşük maliyetle, karmaşık takımlara oldukça kalın ($10\ldots13\ \mu\text{m}$) kaplamalar yapmaktır. Bu sistemde genelde TiN, Ti(C,N) sert kaplama malzemeleri kullanılarak çok tabakalı sert kaplama yapılır. Serbest kristal karışımli bölgelere sahip kaplamanın altındaki kabür tabakaları oldukça iyi bir tokluğa sahiptir. MT-CVD ve PCVD gibi alçak sıcaklıkta CVD kaplamaları , tokluğu daha çok iyileştirmekte ve bu nedenle kesintili talaş kaldırma işlemlerine uygundur. Bu özellik yüksek sıcaklıkta kaplama sırasında oluşan termik gerilmelerin ve kaplamadaki çekme gerilmelerin azaltılması ile meydana gelmektedir. Burada kaplama malzemesi olarak TiC, TiN, Ti(C,N) kullanılır.

PVD'in kaplama sıcaklığı $t=500^{\circ}\text{C}$ olup, kaplama sırasında kaplama altındaki tabakalar kaplama prosesinden çok az etkilendikleri için takımların tokluğu artmakta ve bunları ağır kesintili kesmeler için elverişli yapmaktadır. Eskiden sert kaplama sadece abrazyon aşınmasına karşı olarak düşünülüyordu. Ancak bu kaplamaların, ağız birikintisi meydana gelen düşük hızlarda kullanılması, adezyon aşınmasında da etkili olduğu düşüncesini ortaya koymuştur. Nitekim alçak sıcaklıklarda TiN, Ti(C,N) ile yapılan sert kaplamalar, kimyasal bakımından stabil olma ve reaksiyona girmeme özelliklerine sahiptirler, bu nedenle takım ile parça malzemesi arasındaki adezyonu, önemli ölçüde azaltmaktadırlar. Bununla beraber oldukça düşük kaplama kalınlığına

sahip PVD kaplamaları (3...5 μm), CVD'ye göre özellikle düzgün kesme işlemlerinde çok daha çabuk aşınmaktadır. Neticede: CVD düzgün kesmelerde, PVD kesintili kesmelerde elverişli olmaktadır. Şekil 3.12 'de talaş kalınlığı bakımından PVD ve CVD yöntemlerle kaplı takımların kabiliyetleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi talaş kalınlığı arttıkça, PVD kaplamaların kesme kabiliyeti azalmakta, CVD kaplamalarinki ise artmaktadır.



Kaplamalı karbür takımların ortaya atılması ile, takımların çok amaçlılıkları da artmıştır. Buna göre bir takım bir çok malzeme ve kesme koşullarında kullanılabilir. Şekil 3.13'te çeşitli karbür takımların kaplamalarla elde edilen sınıflar (gradlar) gösterilmiştir. Hatırlatmak üzere P tipi sürekli talaş veren demir esaslı malzemeler için geçerli olup, 01 sertliği ve dolayısıyla aşınma dayanımı en yüksek, 50 tokluğu en yüksek olan takım malzeme sınıfıdır. Genelde kaplanmamış takımların yerine, PVD yöntemi ile kaplanmış TiN kaplamalı takımlar kullanılabilir. Bunların, aynı kesme koşulları için ömürleri çok daha uzundur veya çok daha yüksek talaş hacmi kaldırılabilirler. Bu tip takımlar özellikle frezelemede çok etkilidirler, bunun nedeni kaplama yönteminin ana malzemenin tokluğunu etkilememesinden ileri gelmektedir.

Takımlar	Uygulama alanları													
	P01	P01.1	P01.3	P05	P10	P15	P20	P25	P30	P35	P40	P45	P50	
SERMETLER														
CVD Al ₂ O ₃														
CVD TiC/TiCN/TiN														
PVD TiN														

Şekil 3.13 Takımların uygulama alanları

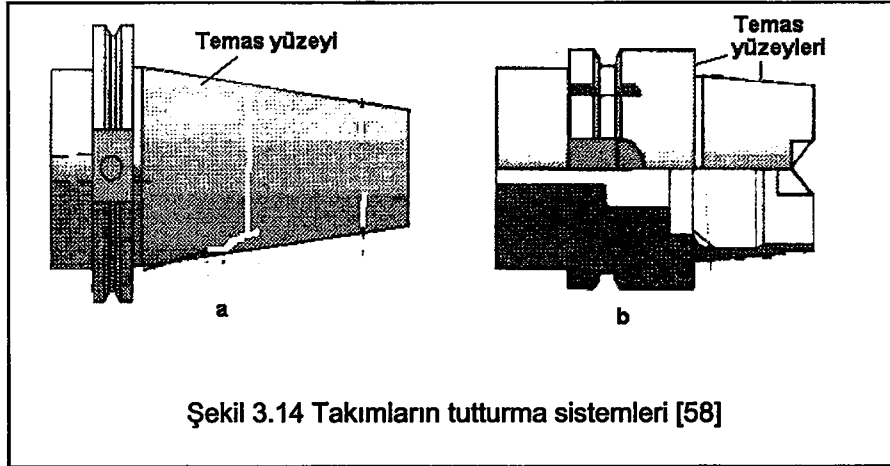
2. Takımlarla ilgili diğer problemler. Hızlı talaş kaldırmada, konvansyonel yönetime göre iki konu ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi yüksek dönme hızlarda meydana gelen merkezkaç kuvvetlerle ilgilidir. Merkezkaç kuvvetlerinin; m-kütle, r-kütlenin dönme merkezine göre yarıçapı (uzaklığı), $\omega=\pi.n/30$ açısal hız olmak üzere

$$F_c = m.r.\omega^2 \quad (3.3)$$

bilinen ifadesi dikkate alınırsa, dönme hızların lineer artması ile merkez kaç kuvvetleri 3 kuvvetine bağlı büyür, örneğin dönme hızı iki misli büyürse aynı m ve r için merkezkaç kuvvetleri 4 misli büyür. Bu nedenle yüksek kesme hızlarında kullanılan takımların dengelenmesi gerekir. Bu amaçla tezgah üzerinde veya tezgah dışında dengelemeyi gerçekleştiren çeşitli cihazlar yapılmıştır.

İkinci bir konu takımların iş milinin veya takım tutturucuların deliğine tutturma yani takım sapların şekli ile ilgilidir. Takım gövdeleri iş mili veya tutturuculara, konik (Şekil 3.14a) ve delikli konik sap anlamına gelen HSK (Şekil 3.14b)) olmak üzere iki şekilde tutturulur. Konik saplar, iş mili deliği ile, sadece koniklik boyunca temas ederler, yani sadece konik bir bağlama oluştururlar, bunlara tek temaslı tutturma sistemi denilir. Bu sistem takımların tutturulmasında ve çözülmesinde çok büyük kolaylık sağlar ve şimdiye kadar imal edilen tezgahların çoğunda bu tutturma sistemine uygun iş milleri vardır. HSK'da ve buna benzer başka konstrüsyonlarda,

temas yüzeyleri iş milin alın yüzeyi ve konik kısımdaki yüzeydir, yani iki yüzeye bağlı bir tutturma vardır, bunlara iki temaslı tutturma sistemi denir.



Yüksek merkezkaç kuvvetlerinde iş mili deliğinde, çok az bir genişleme meydana gelse dahi, bu genişleme tek temaslı tutturma sistemlerinde, takımı milden çözebilecek duruma getirebilen bir bağlama gevşekliği (konik sıkılığının azalması) meydana getirir. Bu husus her şeyden önce Z eksen yönünde kesme doğruluğunu etkiler. İki temaslı tutturmada, konik temas kısmındaki bağlamanın gevşemesine karşın, alın yüzeydeki tutturma takımın kaymasını veya milden çıkmasını önlemektedir. Bu nedenle çok yüksek dönme hızlarında bu takımların kullanılmasında yarar vardır. İki temaslı tutturma sisteminin bir başka üstünlüğü, tek temaslı sistemlere göre daha rijid bir bağlama sistemi oluşturmasıdır. Burada rijidlik hem aksenel, hem radyal düzlemde sağlanmaktadır. Ayrıca, alın temaslı bir yataklama görevini yapmakta, takımın ankastre noktasını bu yere getirmekte ve iş mili deliğinin iç kısmındaki eğilme momentlerini dış kısma taşımaktadır. Böylece daha uzun takımlar kullanılabilen ve yan kesmeler yapılabilir.

4. DENEY FAKTÖRLERİNİN TAYİNİ VE DENEY DÜZENİ

4.1 DENEY FAKTÖRLERİNİN TAYİNİ

Bölüm 1'de belirtildiği gibi tezin konusu: " CNC Takım Tezgahlarında Hızlı Talaş Kaldırma Prosesinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi " dır. Burada konu ile ilgili, iki hususun açıklığa kavuşturulması gerekir. Bunlardan birisi incelemenin hangi talaş kaldırma prosesine dayanacağı, ikincisi ise talaş kaldırma teorisinden hangi esaslara göre yapılacağıdır.

1. İncelemedeki prosesin seçimi. Günümüzde taşlama bir tarafa bırakılırsa, parçalara şekil veren talaş kaldırma proseslerinden en çok uygulanan; tornalama, frezeleme ve delik işlemdir. Tornalama, torna tezgahlarında, frezeleme ve delik işlemleri ise, günümüzde bu amaçla geliştirilmiş işleme merkezleri denilen tezgahlarda yapılmaktadır. Bununla beraber torna merkezleri adını taşıyan tezgahlarda da bazı frezeleme işlemleri ve işleme merkezlerinde de bazı tornalama işlemleri yapılmaktadır. Ayrıca eskiden sadece taşlama ile işlenen örneğin sert malzemeler (HRC=40...65) veya sadece bu prosesle yüzey kalitesi elde edilen parçalar, günümüzde torna tezgahlarında veya işleme merkezlerinde işlenebilmektedirler. Kısaca talaş kaldırma alanında proses olarak tornalamaya, frezelemeye ve delik işlemeye, tezgah olarak da torna merkezlerine ve işleme merkezlerine doğru bir yönelme vardır.

Bilindiği gibi [50] tornalama da tek ağızlı bir takımla iki boyutta (X ve Z) temsil edilebilen dönel parçalar, frezeleme ile çok ağızlı bir takımla dönel parçaların dışında olan ve genelde prizmatik denilen üç boyutta (X,Y ve Z) temsil edilen diğer parçalar işlenir. Tornalamada takımın tek ağızı kullanılarak sürekli talaş kaldırılır. Frezelemede ise ardışık ağızlarla kesintili talaş kaldırılır. Buna göre frezeleme gerek işlenen parça şekilleri, gerekse kesintili talaş kaldırma bakımından, tornalamadan daha kolay bir işlemdir. Bunun yanı sıra kanaatime göre, hızlı talaş kaldırma frezelemede, tornalamadan daha etkili ve verimli olmuştur. Ayrıca frezeleme Ülkemizde de oldukça gelişmiş olan kalıp sanayiinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle tezde, hızlı talaş kaldırma konusunun incelenmesi için

frezeleme prosesi seçilmiştir.

2. İncelemenin esası. Görünürde çok çeşit olmalarına karşın talaş kaldırma alanında yapılan incelemeler dört gruba toplanabilir. Bunlar: talaş oluşumu, ömür-aşınma-kesme hızı, talaş kaldırma kuvvetleri ve talaş kaldırma enerjisi ve yüzey kalitesi ile ilgilidir. Bunlardan tezdeki incelemenin esası olarak; ömür-aşınma-kesme hızı seçilmiştir. Bunun nedeni bu esaslara dayanarak, hızlı talaş kaldırma olayının özellikleri daha açık bir şekilde görünür ve ayrıca buradan elde edilen sonuçların hemen uygulamalara aktarılabilir olmasıdır.

Ömür-aşınma-kesme hızı teorileri ile ilgili bilgiler Bölüm 2'de verilmiştir. Bu bölümde, proses içinde deney parametrelerini tayin etmek için kısaca frezelemeye ait öz bilgiler verilecektir.

4.2 FREZELEME PROSESİNİN ANALİZİ

1. Frezeleme prosesin özellikleri. Klasik bir ifade ile frezeleme; parçanın doğrusal hareketine karşı, çok ağızlı bir takımın uyumlu bir şekilde dönmesi ile gerçekleştirilen bir talaş kaldırma prosesidir [1,3,7,11,12]. Burada takımın dönmesi kesme hareketini, parçanın doğrusal hareketi ilerleme hareketini meydana getirir. Bununla beraber günümüzde frezeleme; parçanın aynı anda çeşitli yönlerde ilerlemesi ve çeşitli eksenler etrafında dönmesine karşı, döner bir takım ile talaş kaldırma prosesi olarak da ifade edilebilir. Bu işlemde takımın tutturulduğu iş milin eksenine, parçanın tutturulduğu tezgah tablasına dik veya eğik konumunda olabilir. Bu şekilde frezeleme ile heykelsi (heykeli benzeyen) denilen çok karmaşık yüzeyler işlenebilir hatta heykeller bile yapılabilir. Günümüzde CNC işleme merkezlerinde ve CAM programlama sistemleri ile, bu yüzeyler yüksek bir doğrulukla ve yüzey kalitesi ile işlenebilir.

Frezeleme işleminin başlıca özellikleri şu şekilde sıralanabilir,

- Yüksek talaş kaldırma hacmi,
 - İyi bir doğruluk ve yüzey kalitesi,
 - Şekil esnekliği yani çok çeşit ve karmaşık geometrik yüzeylerin meydana getirmesi.
- Frezelemede, freze adını taşıyan takımlar silindirik elemanlardır. Bu silindirin çevresinde ve alın yüzeyinde kesme ağızları bulunur. Şöyle ki takımın bir s ilerlemesinde (mm/dev), her ağız belirli miktarda talaş kaldırır.

Takımların dönme hareketi esas olarak alınırsa, takım eksenine göre yapılan

ilerlemeler aksenal, radyal ve teğetsel olabilir. Buna göre takımın özellikleri de dikkate alınarak frezeleme işlemi; alın, çevresel ve çevresel-alın olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Alın frezelemede takım (Şekil 4.2a); parça ilerleme yönüne dik olan bir eksen etrafında döner. Burada kesme genelde takım çevresine bulunan kesme ağızları ile gerçekleştirilir. Çevresel frezelemede takım (Şekil 4.1b); teğetsel ilerlemeye paralel olan bir eksen etrafında döner. Takımın kesme ağızları çevresinde bulunur. Çevresel-alın frezelemede (Şekil 4.2c) takım hem çevresel, hem alın frezeleme yapar. Bu işlem kesme ağızları çevresinde ve alın yüzeyinde bulunan ve genelde parmak freze denilen bir takım ile gerçekleşir. Esasen çevresel-alın frezelemede, frezeleme işleminin genel modelini temsil eder, diğer iki işlem bu genel modelin özel durumlarıdır.



Bununla beraber çevresel ile alın frezeleme arasında kesme derinliği (paso kalınlığı) bakımından önemli bir fark vardır. Çevresel frezelemede kesme derinliği radyal yöndedir ve takım çapının parçaya nüfuz etme kabiliyeti tarafından tayin edilir. Alın frezelemede kesme derinliği aksenal yöndedir ve çevresel kesme ağızlarının ne kadar derin kesebileceklerine bağlıdır.

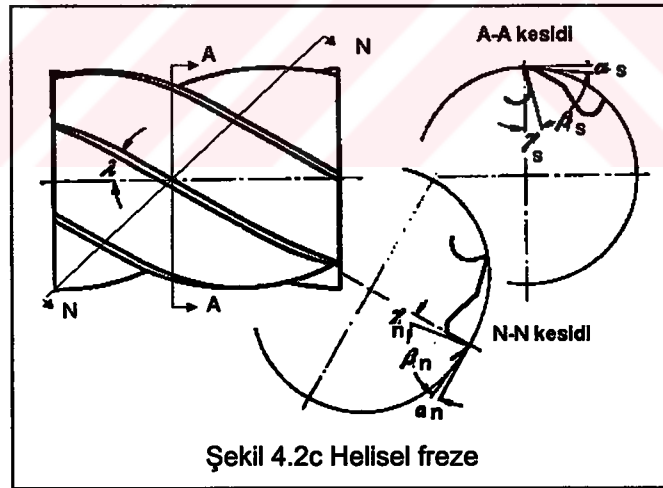
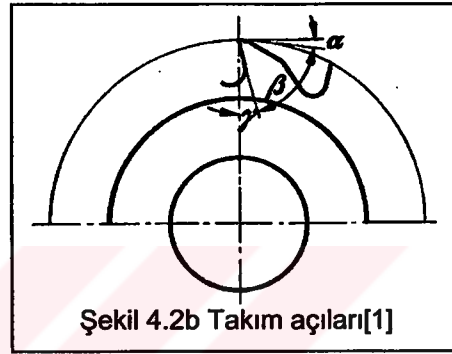
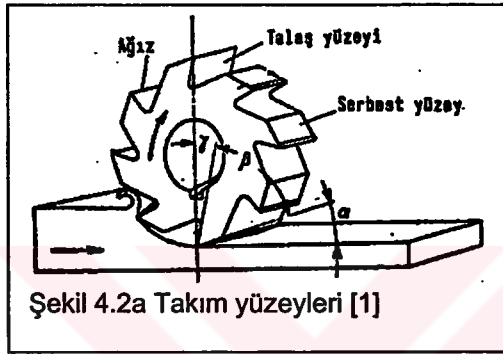
Frezeleme ile, düz ve kademeli yüzeyler (alın freze, dik omuzlu alın freze ile), kanallar ve kenarlar (düz parmak freze ile), cepler (düz parmak freze), kontur denilen eğrisel yüzeyler (küresel parmak freze ile) oluşturulur.

2. Takım geometrisi. Çevresel frezelerde her kesme ağızı, talaş yüzeyi ve serbest yüzeyden oluşan ve freze çevresine yerleştirilen birer diş şeklindedir (Şekil 4.2a). Dişlerin sırtları düz yapılı ve bu kısmın genişliğine sırt bölgesi denilir. Dişler arasındaki talaş kanalları freze boyunca düz (düz çevresel freze) veya helisel (helisel çevresel freze) şeklinde yapılı. Düz çevresel frezelerde kesme ağzının geometrisi γ talaş açısı, β - kama açısı ve α , serbest açı tarafından yapılı (Şekil

4.2b). Helisel çevresel frezelerin kesme açıları takım eksenine dik (A-A) veya dişlerin yönlerine dik (N-N) bir düzlemde ifade edilebilir (Şekil 4.2c). Eksenel düzlem denilen takım eksenine dik yönde kesme açıları λ_s , β_s , ve α_s , normal adını taşıyan diş yönlerine dik bir düzlemde λ_n , β_n ve α_n olarak gösterilir. Ayrıca burada dişlerin helis açısını veren λ açısı da vardır. Bunların arasında [1]: Ayrıca,

$$\begin{aligned}\tan \alpha_n &= \tan \alpha_s \cdot \cos \lambda \\ \tan \beta_n &= \tan \beta_s \cdot \cos \lambda \\ \tan \gamma_n &= \tan \gamma_s \cdot \cos \lambda\end{aligned}\quad (4.1)$$

bağıntıları vardır.



Frezenin alın yüzeyine de kesme ağızları yapılırsa (Şekil 4.3), bu durumda γ_s açısı helis açısı λ ile eşit olması gerekir. Düz kanallı frezeler için $\lambda=0$ ve dolayısıyla $\gamma_s=0$ dır. Şekil 4.3'te alın yüzeydeki kesme ağzının perspektif resmi gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi takımın R çevresinde kesme açısı değişmektedir. Buna göre kesme ağzın eksenel yönde a boyutu verilirse [59],

$$\sin \gamma_c = \frac{b+c}{R} \quad (4.2)$$

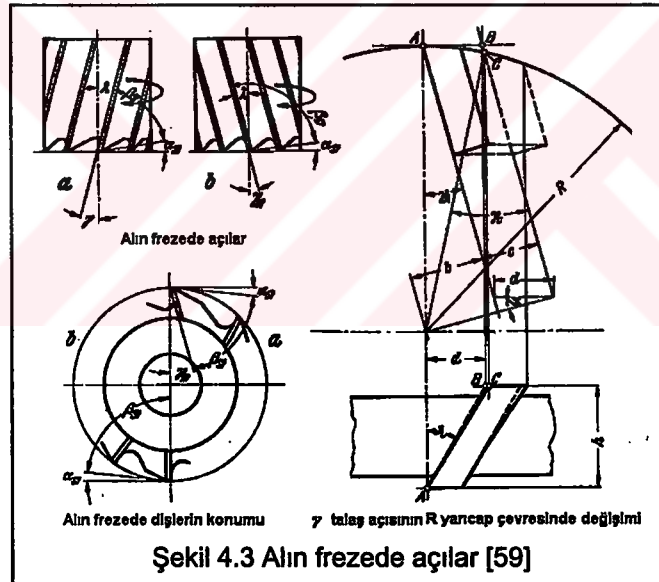
veya

$$\begin{aligned} d &= a \cdot \tan \lambda \\ c &= d \cdot \cos \gamma_A \\ b &= R \cdot \sin \gamma_A \end{aligned} \quad (4.3)$$

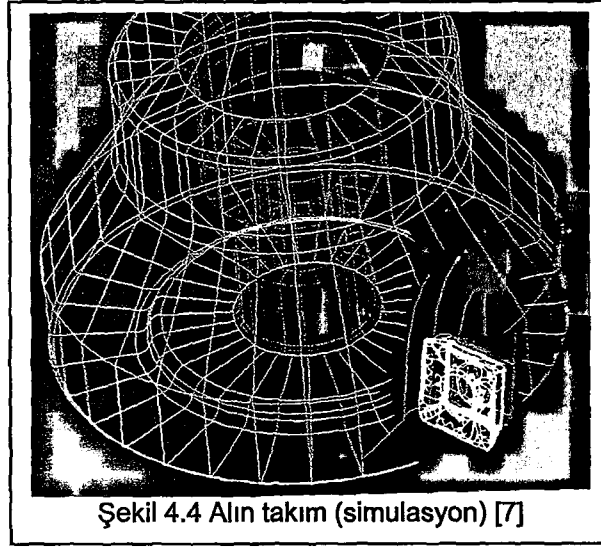
ile

$$\sin \gamma_c = \frac{(R \cdot \sin \gamma_A) + (a \cdot \tan \lambda \cdot \cos \gamma)}{R} \quad (4.4)$$

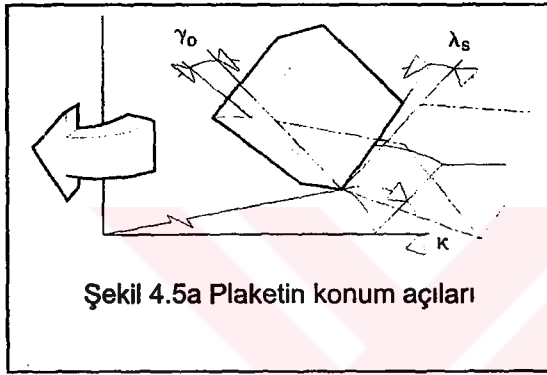
olarak bulunur.



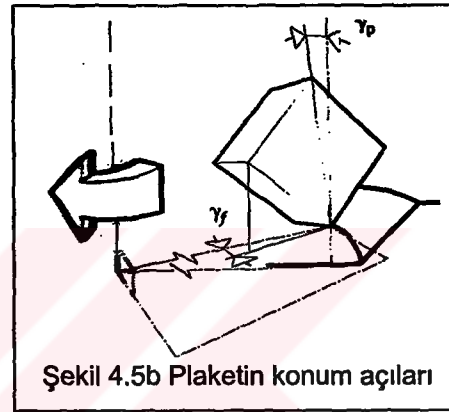
Alın frezede, plaketsli takımlar dikkate alınır (Şekil 4.4), plaketslin konumu fonksiyonel açılar da denilen açılar tarafından tayin edilir. Bunlar yerleştirmes açısı κ , efektif talaş açısı γ_0 ve eğim açısı λ_s dır (Şekil 4.5a). Yerleştirmes veya giriş açısı κ , takım tarafından işlenen düzlem ile ana ağız tarafından işlenen düzlem arasındaki



Şekil 4.4 Alın takım (simulasyon) [7]

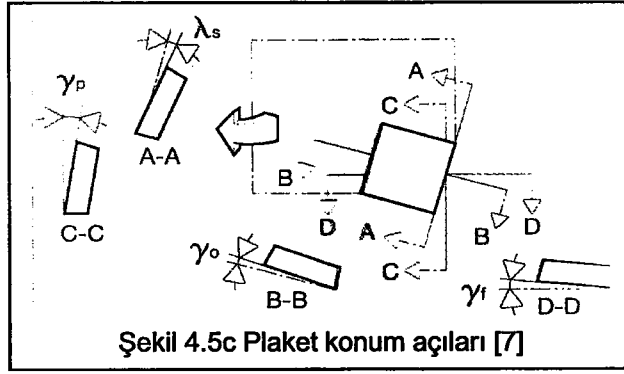


Şekil 4.5a Plaketin konum açıları

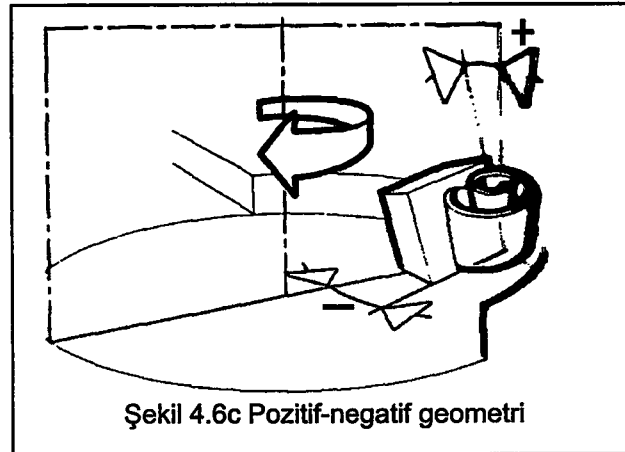
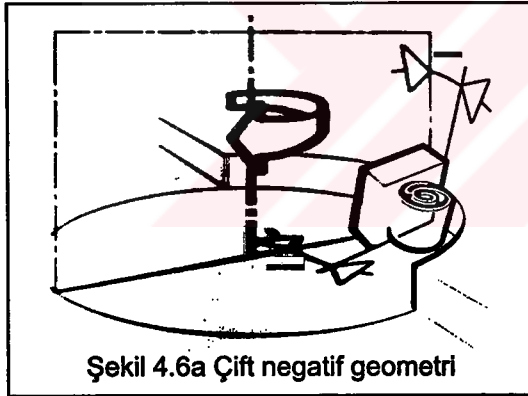


Şekil 4.5b Plaketin konum açıları

açıdır. Efektif talaş açısı γ_0 ana ağza dik bir düzlemde ve eğim açısı λ_s ana ağza paralel bir düzlemde ölçülür. Her üç açıda kuvvetli bir şekilde talaş kaldırma için gereken gücü ve talaş akışını etkiler. Eğim açısı, yerleşme açısı ile beraber ana ağzın parçaya yanaşmasını ve talaşın yönlendirmesini tayin eder. Helis açısı gibi bu açı özellikle kalın talaş kaldırmada, talaşın tahliyesinde önemli bir rol oynar. Talaş açısı, kesme kuvvetlerini ve buna bağlı kesme gücünü etkiler. Pozitif bir talaş açısı daha az kesme kuvvetleri demektir, pozitif yönde her derece yaklaşık %1,5 kesme kuvvetini azaltmaktadır. Bununla beraber dönme eksenine paralel bir düzlemde γ_p eksenel talaş açısı ve aynı eksene dik bir düzlemde γ_r radyal talaş açısı elde edilir (Şekil 4.5b). Tornalamada γ_p açısı takım eksenine dik bir düzlemde ölçülen ve arka talaş açısı, γ_r ise parça eksenine dik bir düzlemde ölçülen ve yan talaş açısı denilen açılara karşılık gelir. γ_p ve γ_r açıları plaket tipini tayin eder ve çeşitli giriş açıların kombinasyonu ile fonksiyonel açıları etkiler. Şekil 4.5c'de kesitleri ile birlikte plaketin konumunu veren tüm açılar gösterilmiştir.

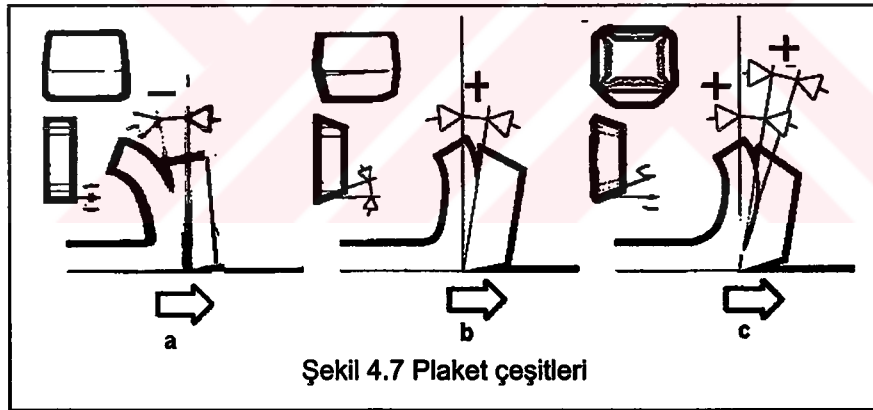


Alın freze ile ilgili, plaket çeşitleri de dikkate alınırsa üç çeşit tasarım mümkündür. Bunlar çift negatif, çift pozitif ve pozitif-negatif dir. Çift negatif geometride (Şekil 4.6a), eksenel ve radyal talaş açılarının her ikisi de negatif dir, bu durum negatif bir uç kullanılarak ve serbest açığı elde etmek için plaketi eğik olarak yerleştirilerek gerçekleşir. Ağır darbelere karşı dayanımlı olan ve sert çelik ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılan bu geometride, ucun her iki kenarı da kullanılmakta ve kalınlıkları oldukça büyük olan talaş kaldırmaktadır. Ancak kesme kuvvetleri yüksek ve bu nedenle harcanan güç de yüksektir, ayrıca takım tezgahın dinamik stabilitesi de yüksek olması gerekir.



Çift pozitif geometride (Şekil 4.6b), aksenal ve radyal talaş açıları pozitif dir, bu durumda tek taraflı pozitif plaketter kullanılır. Sistem daha ince talaş kaldırır, talaşla takım arasındaki temas uzunluğu daha azdır ve bu nedenle kesme kuvvetleri ve buna bağlı kesme gücü daha düşüktür. Geometri sünek çelikler, alüminyum için elverişlidir. Ayrıca talaş tahliyesi bakımından çok elverişli olan spiral yay şeklinde talaş oluşturduğu için bu sistem ceplerin işlenmesi için uygundur. Eksnel talaş açısı pozitif ve radyal talaş açısı negatif olan pozitif-negatif geometri (Şekil 4.6c), talaş kaldırma bakımından diğer iki geometrinin arasındadır. Yani kesme parametreleri (talaş kalınlığı, kesme kuvvetleri, kesme gücü) çift negatif geometriden daha küçük, çift pozitif geometriden daha büyüktür.

Plaketterin şekli kesme ağızlarının mukavemetini, elde edilebilecek ağız sayısını, yüzey kalitesini ve parça konfigürasyonunu önemli şekilde etkilemektedir. Plaketter üç çeşit olabilir (Şekil 4.7): negatif (a), pozitif (b) ve sins oyuklu (c). Kare kesitli olan negatif plaketter çok mukavimdir. Pozitif plaketterin kesitleri trapez şeklinde olup serbest açılı olarak imal edilir. Pozitif grubuna giren sinus şeklinde oyuklu uçlar talaş açısını büyötmekte, buna bağlı olarak kesme daha kolay yapılmakta, kesme kuvvetleri ve gücü ve ayrıca talaş ile uç arasındaki temas uzunluğu azalmaktadır.

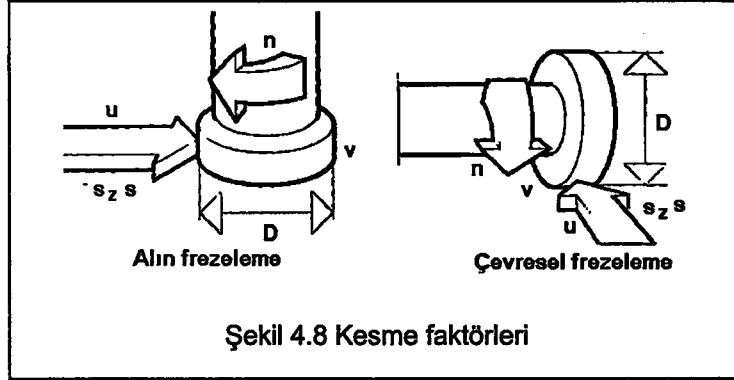


3. Kesme faktörleri. Diğer talaş kaldırma proseslerinde olduğu gibi frezelemede de talaş faktörleri, kesme hızı, ilerleme ve talaş kalınlığını içermektedir.

a. Kesme hızı çevresel hız v (m/dak) veya dönme hızı n (dev/dak) ile ifade edilir (Şekil 4.8), bunların arasında D (mm) takım çapı olmak üzere:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/dak)} \quad (4.5)$$

bağıntısı vardır. Dönme hızı tezgahın bir parametresidir ve kesme olayı hakkında pek bir şey ifade etmez. Çevresel kesme hızı ise, direkt olarak kesme ağzının parça yüzeyini kestiği yüzey hızını ifade eder. Takıma yönelik olan bu faktör büyük önem taşır ve talaş kaldırma analizi bu faktöre göre yapılır. Dönme hızı tezgahın ayarlaması için kullanılır.



b. İlerleme, ilerleme hızı u (mm/dak) veya s (mm/dak) olarak ifade edilir. İlerleme hızı takımın parçaya göre birim zamanında ilerlemesidir. İlerleme s ise talaş kaldırma ile ilgili hesaplarda kullanılmakta ve kesmede elde edilen yüzey kalitesini tayin etmektedir. Frezelemede ayrıca dişe (ağıza) karşılık gelen ilerleme s_z (mm/diş) de kullanılmakta ve bir dişin kesme durumunda bulunduğu sürede takımın ilerlemesini ifade etmektedir (Şekil 4.8). Takımı oluşturan her ağzın eşit koşullarda kesmelerini sağlayan bu faktör aynı zamanda, ağızların talaş kaldırma kapasiteleri, kesme kuvvetleri, takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından önemli bir faktördür. İlerleme hızı, ilerleme ve dişe göre ilerleme arasında, z diş (kesme ağzı) sayısı olmak üzere

$$u = s_z \cdot z \cdot n \quad s_z = \frac{u}{z \cdot n} \quad s = s_z \cdot z \quad (4.6)$$

bağıntıları vardır (Şekil 4.9) .

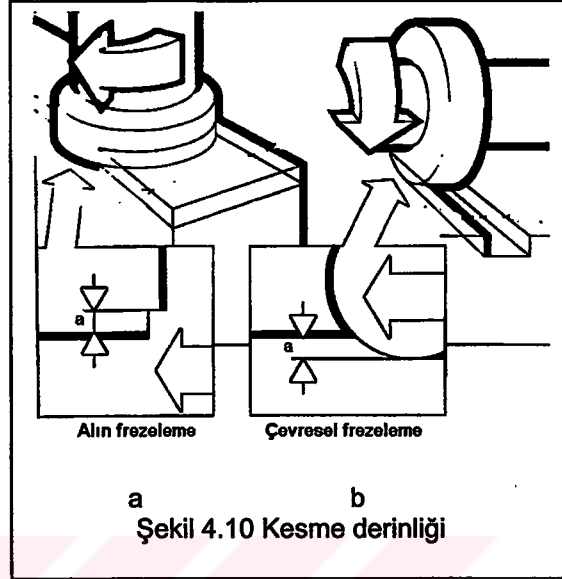
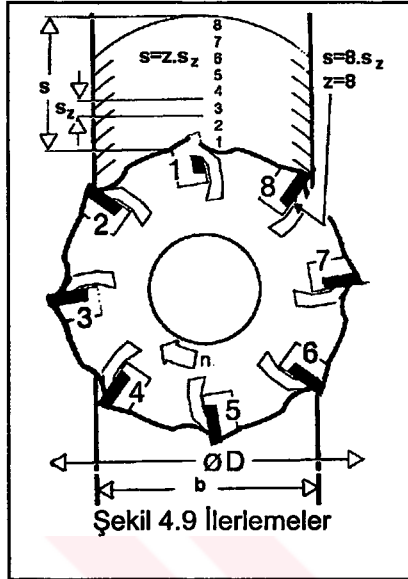
c. Paso kalınlığı, alın frezelemede eksenel yönden, çevresel frezelemede (Şekil 4.10a) radyal yönden parçadan kaldırılan a (mm) tabaka kalınlığını ifade eder. Talaş genişliği alın frezelemede (Şekil 4.10b) radyal yönden, çevresel frezelemede eksenel yönden takımın, parça yüzeyini kapladığı b (mm) uzaklıktır. Bu iki faktör kesme gücünü ve kaldırılan talaş hacmini önemli şekilde etkileyen faktörlerdir.

d. Kaldırılan talaş hacmi, zaman ve ekonomik bakımında frezeleme işleminin

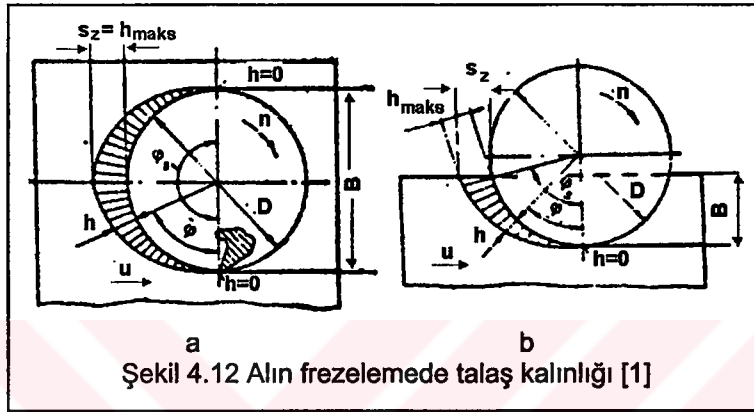
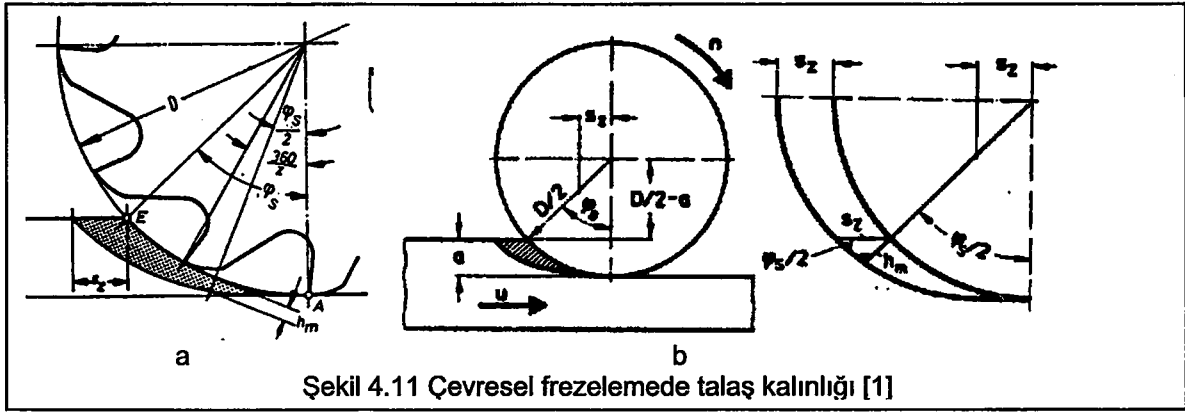
etkinliğini gösteren önemli bir faktör olup

$$V = a.b.u \quad (\text{mm}^3/\text{dak}) \quad (4.7)$$

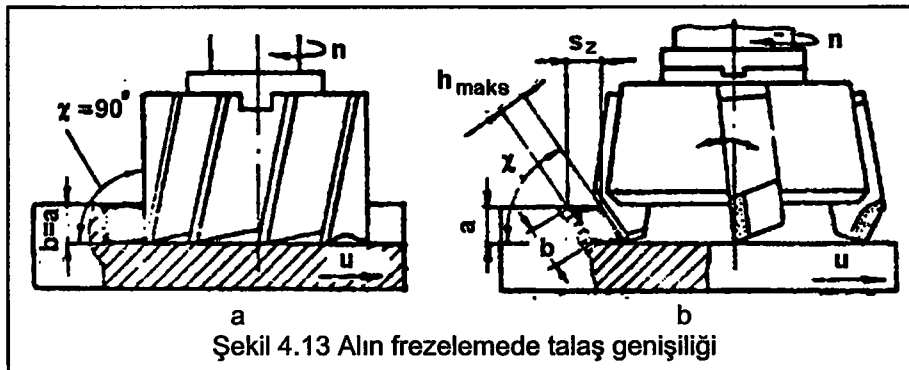
şeklinde ifade edilir.



4. Talaş boyutları. Bilimsel olarak talaş boyutları, kalınlığı (h) ve genişliği (b) ile ifade edilir. Frezelemede talaş kalınlığı takıma göre radyal yönde ölçülen bir büyüklüktür. Frezelemeyi diğer talaş kaldırma proseslerinde ayıran önemli bir husus, talaş kalınlığının değişken olmasıdır (Şekil 4.11). Alın frezeleme dikkate alınırsa burada ilerleme eksenini denilen takımın yatay eksenini ile, takımın parçadan talaş kaldırma bölgesini ifade eden φ_s kesme kavrama açısı arasındaki konumuna bağlı olarak iki durum ortaya çıkabilir. Buna göre takımın ilerleme eksenini kesme bölgesi veya dışında olabilir. Birinci durumun üst sınırını örneğin parmak freze ile bir kanalın açılmasında olduğu gibi $\varphi_s = 180^\circ$ oluşturur (Şekil 4.12a). İkinci durumun alt sınırını yine parmak freze ile çok az bir paso kalınlığı ile bir yüzeyin işlenmesinde meydana gelen φ_s açısının çok küçük olmasıdır (Şekil 4.12b). bu durumda kaldırılan talaş hacmi, yeterli olmayabilir. Tüm durumlarda talaş kalınlığının maksimum değeri $h_{maks} = S_z$ dir.



Talaşın genişliği b , çevresel frezelemede işlenen yüzeyin B genişliğine bağlıdır. Düz frezelerde $b=B$ ve helis açısı λ olan helisel frezelerde $b=B/\cos\lambda$ dir. Alın frezelemede talaş genişliği kesme ağzının uzunluğu boyunca ölçülür ve χ yerleştirme açısına bağlıdır. $\chi=90^\circ$ için $b=a$ (Şekil 4.13a), $\chi<90^\circ$ de $b=a/\sin\chi$ dir (Şekil 4.13). Ancak χ açısı talaş kalınlığını da etkilemektedir. χ açısı küçüldükçe talaş kalınlığı azalmakta, genişliği ise büyümektedir.



Çevresel frezelemede Şekil 4.11'deki model esas olarak alınırsa, herhangi ϕ açısına karşılık gelen talaş kalınlığı

$$h_{\varphi} = s_z \cdot \sin \varphi \quad (4.8)$$

olarak ifade edilir. Partikte herhangi bir h_{φ} değeri değilde h_m ortalama talaş kalınlığı alınır. buna göre AE çevre boyunca talaş kalınlığının değişmesi dikkate alınırsa ortalama talaş kalınlığı [1,4,59]

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \int_0^{\varphi_s} s_z \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \quad (4.9)$$

veya

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \cdot s_z \cdot \cos \varphi_s \quad (4.10)$$

olarak bulunur. Şekil 4.11b dikkate alınırsa

$$\cos \varphi_s = \frac{D/2 - a}{D/2} = 1 - \frac{2a}{D} \quad (4.11)$$

değeri ile

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \cdot s_z \cdot \frac{a}{D} \quad (4.12)$$

veya φ_s derece olarak konulursa

$$h_m = \frac{360}{\pi \cdot \varphi_s} \cdot s_z \cdot \frac{a}{D} \quad (4.13)$$

olarak yazılır. Burada $a/D \leq 0.2$ için ortalama talaş kalınlığı $\varphi_s/2$ açığı karşılık gelen kalınlık olarak alınırsa

$$h_m = s_z \cdot \sqrt{\frac{a}{D}} \quad (4.14)$$

olarak bulunur.

Çevresel frezeleme için Şekil 4.12a,b dikkate alınırsa

$$h_{\varphi} = s_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi \quad (4.15)$$

ve ortalama talaş kalınlığı

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} s_z \cdot \sin \chi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \quad (4.16)$$

veya

$$h_m = \frac{1}{\varphi_s} \cdot s_z \cdot \sin \chi \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (4.17)$$

ve ayrıca φ_s derece olarak konulursa

$$h_m = \frac{180}{\pi \cdot \varphi_s} \cdot s_z \cdot \sin \chi \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (4.18)$$

olarak bulunur. Alın frezelemede (Şekil 4.12)

$$\cos \varphi_1 = \frac{B_1}{D/2} = \frac{2 \cdot B_1}{D} \quad \cos \varphi_2 = \frac{B_2}{D/2} = \frac{2 \cdot B_2}{D} \quad (4.19)$$

ve

$$\varphi_s = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (4.20)$$

dir. $B_1=B_2=B/2$ olan simetrik frezelemede

$$\varphi_s = \frac{B}{D} \quad (4.21)$$

dir.

Bu değerlere göre talaş kesiti

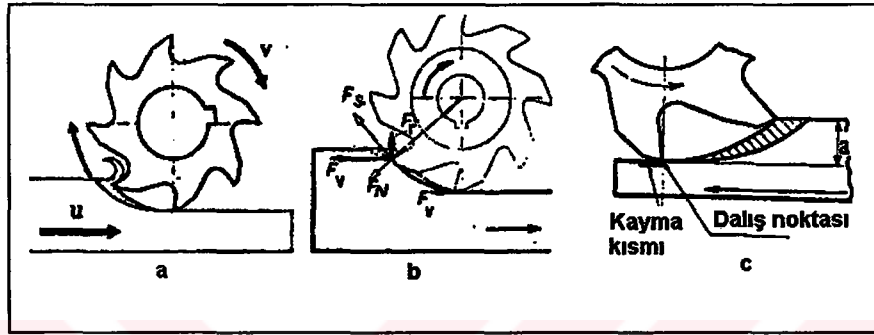
$$A_s = h_m \cdot b \quad (4.22)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yukarıdaki bağıntılardan görüldüğü gibi kesme kavrama açısı φ_s (4.11) bağıntısı ve ortalama talaşın kalınlığı a/D (paso kalınlığı/takım çapı) oranına bağlıdır. Küçük bir a/D oranı takımın ilerleme eksenini, kesme bölgesinin dışında bulundurur ve ortalama talaş açısının değerini azaltır. Efektif bir kesme için h_m değerleri çok küçük olmaması gerekir.

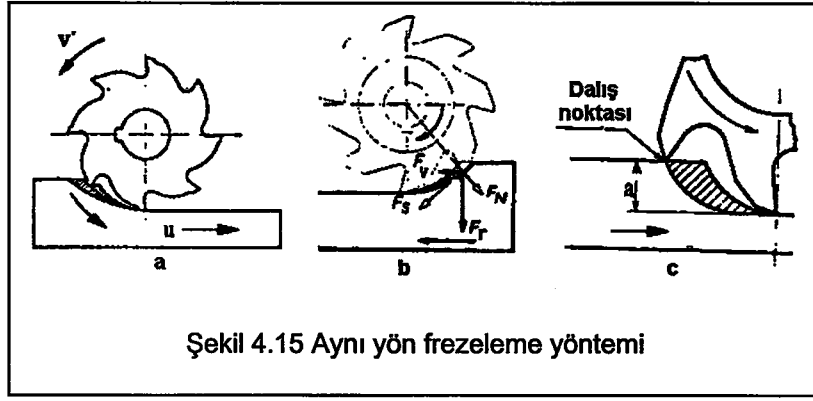
Frezelemede talaş kaldırma ile ilgili bir başka konu, frezeleme yöntemidir.

Frezelemede takımın dönme ve parçanın ilerleme yönlerine göre; karşıt (konvansyonel) ve aynı (klimb) olmak üzere iki frezeleme yöntemi vardır. Karşıt frezelemede (Şekil 4.14); takım parçanın ilerleme yönüne karşı olarak dönmekte ve kesme işlemi aşağıdan yukarıya doğru yapılmaktadır. Buna göre talaş kalınlığı sıfırdan (dişin malzemeye girişinde) maksimum (dişin malzemedan çıkışında) bir değere ulaşmaktadır. Aynı yön frezelemede (Şekil 4.15); takım parçanın ilerleme yönüne göre döner ve kesme yukarıdan aşağıya doğru yapılır. Burada talaş kalınlığı maksimum bir değerden (dişin malzemeye girişinde) sıfır (dişin malzemedan çıkışında) bir değere kadar sürekli azalır.

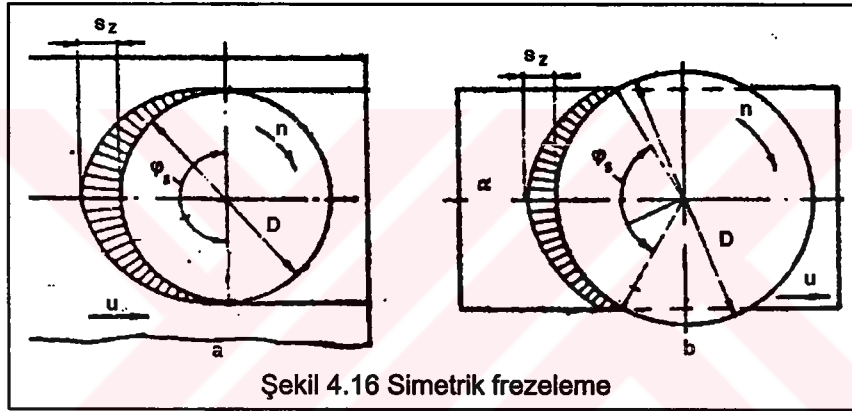


Karşıt ve aynı frezeleme yöntemlerinin karşılaştırılması şu sonuçlar verir:

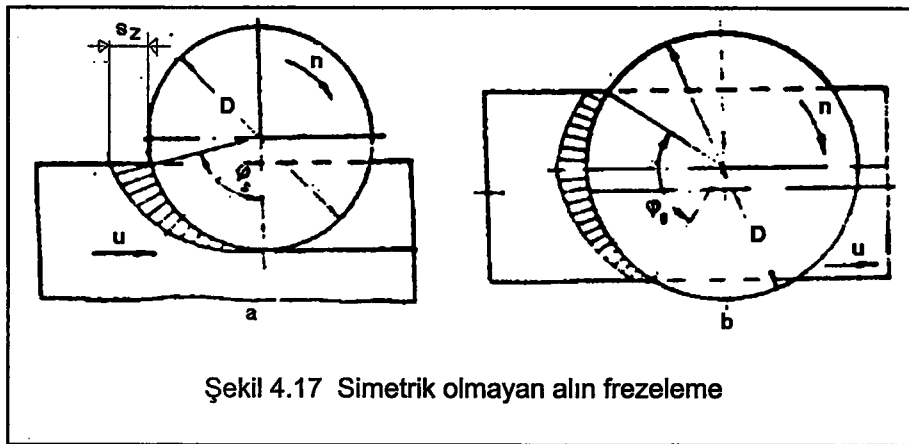
- Karşıt frezelemede kesme kuvvetleri tedricen sıfırdan maksimum bir değere ulaşır. Bu husus dişin zorlanması bakımından daha elverişlidir. Ancak kuvvetlerin doğrultusu aşağıdan yukarıya doğru olduğundan, tezgah tablasını kaldırmaya çalışmakta, bu da parçalar arası boşlukları büyütme ve tezgah sisteminin titreşimlere karşı stabilitesini zayıflatmaktadır. Ayrıca burada diş hemen malzemeye nüfuz etmemekte bir kayma ve ondan sonra talaş kaldırmaya başlamaktadır (Şekil 4.14c). Kayma olağanüstü bir sürtünme ve ısı oluşumu ve bunların neticesi olarak takım aşınması meydana getirmektedir.
- Aynı yön frezelemede, kesme başlangıcında diş maksimum kesme kuvvetlerine zorlanmakta, daha sonra kuvvetler sıfıra doğru tedricen azalmaktadır. Bu dişin zorlanması bakımından istenilen bir durum değildir. Ancak burada kesme kuvvetlerin doğrultuları aşağı doğru olduğundan, tezgah tablasını bastırmaya çalışmakta, boşlukları azaltmakta ve tezgah stabilitesini artırmaktadır.
- Bu sonuçlara göre ve yapılan incelemelerden de görülmüştür ki, aynı yönde frezelemede elde edilen yüzey kalitesi, karşıt yöntemine göre iki misli daha iyidir. Bu sonuçlara dayanarak, çok kalın pasolar ve sert tabakalı yüzeyler dışında, aynı yönde frezeleme yönteminin kullanılması önerilmektedir.



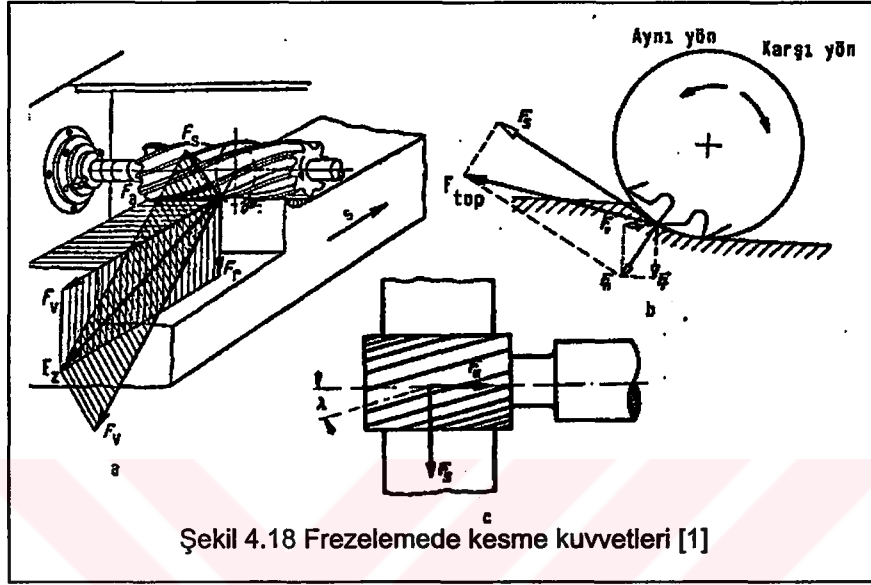
Alın frezelemede simetrik yani frezenin yatay eksenini, parça yüzeyinin yatay eksenine ile ϕ çıkıştığı durumda, aynı veya karşıt yöntemin anlamı yoktur (Şekil 4.16a,b). Bu yöntemler simetrik olmayan kesmeler için geçerlidir (Şekil 4.17a,b). Burada kriter talaş kalınlığının başlangıç değeridir. Talaş kalınlığı minimum maksimum değeri



büyürse karşıt, maksimum değerden minimum değere azalırsa aynı frezelemeden söz edilir.



6. Talaş kaldırma kuvveti [60-63]. Talaş kaldırma kuvveti, kesme için gereken gücü tayin eden ve malzemelerin talaş kaldırma ile işlenme kabiliyeti hakkında bir fikir veren önemli bir faktördür. Diğer talaş kaldırma yöntemlerinde olduğu gibi, frezelemede de talaş kaldırma kuvvetinin; F_{sz} kesme kuvveti, F_{rz} radyal veya pasif kuvvet ve F_{vz} ilerleme kuvveti olmak üzere üç bileşeni vardır (Şekil 4.18) . Ayrıca helisel frezelerde F_a eksenel kuvvette bulunur. Bu kuvvetler bir dişe gelen



Şekil 4.18 Frezelemede kesme kuvvetleri [1]

kuvvetlerdir. Tüm frezeye ait kuvvetler, kesme durumunda bulunan diş sayısı

$$z_e = z \frac{\varphi_s^0}{360^0} \quad (4.23)$$

dikkate alınırsa

$$F_s = z_e \cdot F_{sz} \quad (4.24)$$

$$F_r = z_e \cdot F_{rz} \quad (4.25)$$

$$F_v = z_e \cdot F_{vz} \quad (4.26)$$

ve ayrıca helisel frezelerde eksenel kuvvet

$$F_a = F_s \cdot \tan \lambda \quad (4.27)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

F_{sz} , F_{rz} ve F_{vz} kuvvetlerine bağlı olarak talaş kaldırma kuvveti

$$F_{zz} = \sqrt{F_{sz}^2 + F_{rz}^2 + F_{vz}^2} \quad (4.28)$$

şeklinde ifade edilir. Her ne kadar F_{sz} , F_{rz} ve F_{vz} kuvvetleri F_{zz} kuvvetin bileşenleri olarak görünse dahi, F_{zz} kuvvetini ve buna bağlı F_{sz} , F_{rz} ve F_{vz} kuvvetlerini tayin eden bir yöntem yoktur.

Bölüm 2'de belirtildiği gibi Merchant modeline dayanan analitik olarak (2.11) ve (2.12) bağıntılarına göre F_s ve F_r kuvvetleri tayin edilebilir. Bu bağıntılar talaş kalınlığının örneğin tornalamada olduğu gibi, sabit olan talaş kaldırma yöntemleri için geçerlidir. Frezelemede ise talaş kalınlığı değişkendir. Bu nedenle burada iki yön takip edilmektedir. Birinci yöntemde Şekil 4.11'deki model esas alınarak belirli bir φ açısına karşılık gelen kesme kuvveti

$$dF_{sz\varphi} = b.(s_z \cdot \sin \varphi)^{1-z} \quad (4.29)$$

veya

$$dF_{sz\varphi} = \frac{a}{\sin \chi} (s_z \cdot \sin \varphi)^{1-z} \quad (4.30)$$

şeklinde yazılarak kesme kavrama boyunca entegre edilir ve aynı bölgeye bölünerek

$$F_{msz} = \frac{\int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} dF_{sz\varphi} \cdot d\varphi}{\varphi_{\min} - \varphi_{\max}} \quad (4.31)$$

şeklinde ortalama kesme kuvveti bulunur. Burada

$$\int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} F_{sz\varphi} \cdot d\varphi \quad (4.32)$$

çeşitli yöntemler kullanılır.

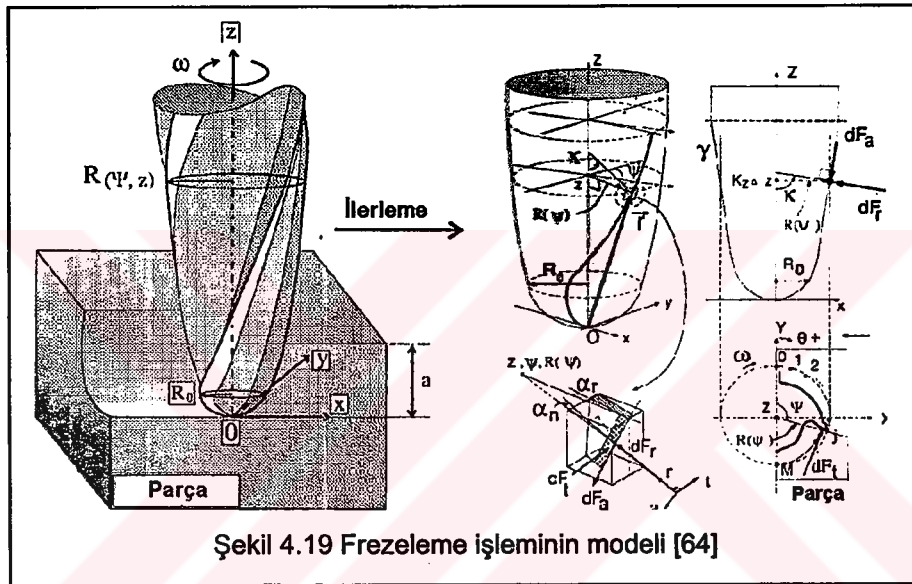
Bu hususta Altıntaş ve Lee [64], Şekil 4.19'da gösterilen genel bir frezeleme modeline dayanarak, diferansiyel şeklinde kesme kuvvetlerini

$$\begin{aligned} dF_t(\theta, z) &= K_{te} dS + K_{tc} h(\bar{\Psi}, \kappa) dS \\ dF_r(\theta, z) &= K_{re} dS + K_{rc} (\bar{\Psi}, \kappa) dS \\ dF_a(\theta, z) &= K_{ae} dS + K_{ac} (\bar{\Psi}, \kappa) dS \end{aligned} \quad (4.33)$$

şeklinde ifade etmektedir. Burada F_t teğetsel adını da taşıyan kesme kuvveti ve $dS=dz/\sin\kappa$ helis şeklindeki ağızın diferansiyel uzunluğudur. Bu kuvvetler, x,y,z karteziyen yönlere indirgenirse, toplam kesme kuvveti

$$F_{x,y,z}(\theta(z)) = \int_{z_1}^{z_2} dF_{x,y,z} dz \quad (4.34)$$

şeklinde bulunur. Burada bu denklemin entegrasyonu, her dz eksenel uzaklık için kesme ağızının etkisi dikkate alınarak nümerik şeklinde yapılmıştır. Ancak tüm bu denklemler pratik bakımından çok karmaşık ve tayini bazı durumlarda çok zor olan bir çok faktör içermektedir.



Pratikte kesme kuvveti

$$k_{s11} = \frac{F_s}{h_1 \cdot b_1}$$

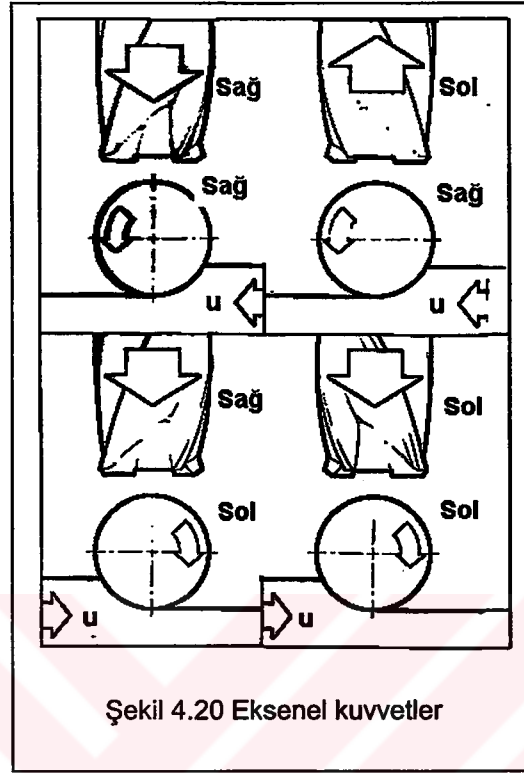
olarak ifade edilen ve deneylere dayanarak tayin edilen k_{s11} özgül birim kuvvetine göre tayin edilir. Buna göre kesme kuvveti [1]

$$F_{sz} = b \cdot h_m^{1-z} \cdot k_{s11} \cdot k_\gamma \quad (4.41)$$

olarak yazılır. Burada k_γ k_λ deneylere dayanan ampirik bağıntılarla tayin edilen talaş açısı faktörüdür. F_r radyal ve F_v ilerleme kuvvetleri, F_s 'e bağlı olarak deneylerle tayin edilir.

Frezelemede meydana gelen kuvvetlerle ilgili özellikle parmak frezelerde önem

taşıyan şu hususu da hatırlamakta yarar vardır. Helisel frezelerde meydana gelen aksenal kuvvetin yönü (Şekil 4.20), helis yönü (sağ, sol), dönme yönüne (sağ, sol) ve ilerlemenin yönüne, büyüklüğü ise helis açısının değerine bağlıdır.



Eksel kuvvet takımı iş miline göre çekmeye veya basmaya zorlamakta ve talaş kaldırmayı menfi şeklinde etkileyen, burkulma veya eğilme şekil değiştirmeleri meydana getirmektedir. Helis açısı büyüdükçe aksenal kuvvet büyümekte ve menfi etkileri de artmaktadır. Bu husus hızlı talaş kaldırmada büyük önem taşımaktadır.

5. DENEY FAKTÖRLERİN SEÇİMİ

5.1 DENEYLERİN AMACI

Bölüm 4'te de açıklandığı gibi tezin amacı, hızlı talaş kaldırma koşullarında, frezelemede takım aşınmasının incelenmesidir. Bu amaçla dört takım ve üç parça malzemesi seçilmiş ve her takım-parça malzemesi için, dört ayrı kesme hızları kullanılarak talaş kaldırılmış ve takımlarda meydana gelen aşınma olayı incelenmiştir.

Bu bölümde deneylerde kullanılan takım tezgahı, takım malzemeleri ve şekilleri, parça malzemeleri, kesme hızları ve deney yöntemi hakkında bilgi verilecektir.

5.2 DENEYLERDE KULLANILAN TEZGAHIN ÖZELLİKLERİ

Deneyler için tezgah olarak, özellikle kalıp imalatı için tasarlanmış SUPERMAX YCM-V105A modeli işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 5.1). Üç eksenli, yüksek bir rijitliğe ve dinamik stabiliteye sahip olan bu tezgahın özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

- Güç (iş mili) motoru: 7.5 kW.
- İş milin dönme hızı: 45...18.000 d/dak.
- İş milin konikliği: BT 40.
- Hızlı (boşta) ilerleme hızı: X=Y=24 m/dak, Z=16 m/dak.
- Kesme ilerleme hızı: 1...10000 mm/dak.
- Maksimum eksenel kuvvet: 11500 N
- Çalışma hacmi: X=1020 mm, Y=520 mm, Z= 630 mm.
- Tabla ölçüsü: 1200 x 550 mm.
- Maksimum iş yükü: 1000 Kg.
- İş milin alın yüzeyi ile tabla yüzeyi arasında uzaklık: 120...750 mm.
- Tabla merkezi ile kolon yüzeyi arasındaki uzaklık:340...860 mm.
- Taretteki takım sayısı: 24 T.

- Maksimum takım boyu: 300 mm.
- Otomatik takım değiştirme zamanı: 3.6 san.
- Hava basıncı: 5,5 bar.
- Hava debisi: 6 m³/saat.



şekil 5.1 Deneylerde kullanılan tezgah

Tezgah, özellikle yüksek talaş kaldırma ile kalıp işleme için tasarlanmış ve bölüm 3'te açıklandığı gibi, dört kızak yoluna sahip bu tezgah, yüksek talaş kaldırmada gerekli olan tüm konstrüksiyon özelliklerine de sahiptir.

5.3 TAKIM MALZEMELERİ VE TİPLERİ

5.3.1 Takım Malzemeleri

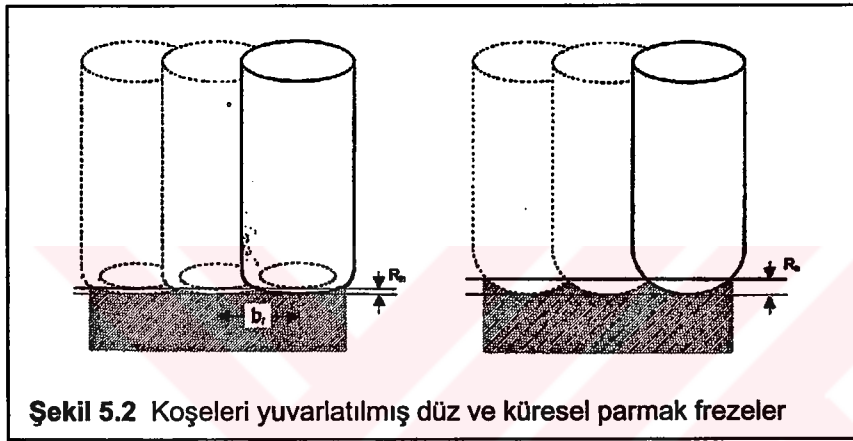
Deneylerde; CBN (kübik bor nitrür), TiAlCN (titan alüminyum- karbon -azot) ve TiCN (titan-karbon-azot) kaplı kobalt esaslı karbür ve ayrıca kaplanmamış (kobalt esaslı karbür (sert metal-SM) olmak üzere dört takım malzemesi kullanılmıştır.

Takım malzemelerin seçimi şu düşünceye dayanmaktadır. Genelde hızlı ve sert talaş kaldırma için, CBN ve seramik esaslı sermet malzemeleri önerilmektedir. Ancak bu iki malzeme bir hayli pahalıdır. Diğer yandan son yıllarda, bu iki malzemedен daha ucuz olan, kaplamalı karbür takım malzemeleri alanında büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu nedenle teзде, genelde bu tip talaş kaldırma için,

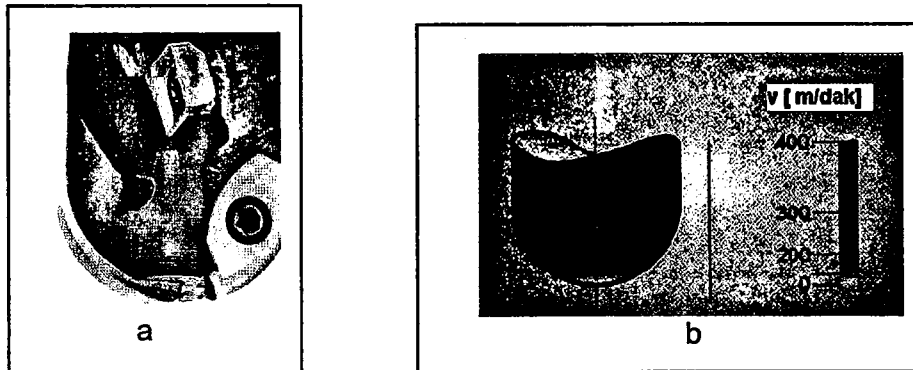
önerilen CBN ile karşılaştırmalı olarak, kaplamalı karbür takım malzemelerin davranışları incelenmek istenmiştir.

5.3.2 Takım Şekli ve Çapı

Bilindiği gibi parmak frezeler düz, köşeleri yuvarlatılmış düz ve küresel olmak üzere üç tip olarak bulunurlar. Daha iyi bir yüzey pürüzlüğü meydana getiren düz parmak frezeler, düz yüzeylerde kullanılır, küresel frezeler ise eğrisel yüzeyler için çok elverişlidir (Şekil 5.2). Oldukça karmaşık olan kalıp yüzeyleri için hızlı talaş kaldırmada genelde küresel frezeler kullanılmaktadır. Deneyler için bu tip frezeler seçilmiştir.

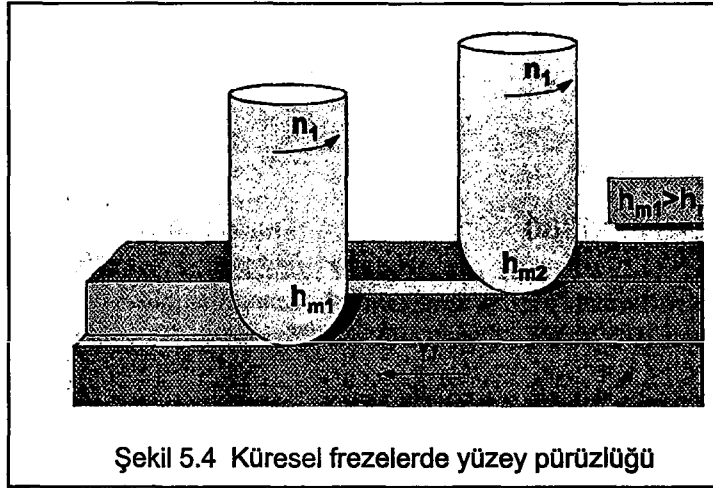


Küresel frezelerin kullanılmasında iki hususa dikkat edilmesi gerekir. Birincisi $v = \pi \cdot d_{ef} \cdot n / 1000$ şeklinde ifade edilen çevresel hız, frezenin ortasına doğru gidildiğinde, yani çap küçüldüğünde, azalmaktadır ve frezenin ortasında sıfır olmaktadır (Şekil 5.3a). Burada d_{ef} parça ile temasta bulunan takım çapıdır.



Şekil 5.3 Küresel parmak freze

İkinci bir husus küresel frezelerin oluşturdukları yüzey pürüzlüğü, Şekil 5.4 'de görüldüğü gibi paso kalınlığı ile direkt orantılıdır.



Şekil 5.4 Küresel frezelerde yüzey pürüzlüğü

Takımın çapı $d=12$ mm olarak seçilmiştir. Bu seçim şu düşünceye dayanmaktadır. Hızlı talaş kaldırmada takım seçiminde, bir yandan rijidlik, diğer yandan yüksek dönme hızlarında meydana gelen merkezkaç kuvvetleri dikkate alınmalıdır. Takım çapı büyüdükçe rijidlik artar, ancak aynı dönme hızlarında merkezkaç kuvvetleri de artar. Bu da takımların dengelemesini gerektirir. Genelde çapları 12 mm kadar olan takımlar, 22.000-25.000 dev/dak 'tan sonra dengeleme gerektirir. Deneylerde kullanılan en büyük dönme hızı 16041,31 dev/dak'ı aşmamıştır. Bu hususu dikkate alarak deneylerde kullanılan takım çapları $d=12$ mm olarak seçilmiştir.

5.4 DENEY PARÇALARI

5.4.1 Parça Malzemeleri

Parça malzemesi olarak makina imalatında en çok kullanılan ıslah ve sementasyon çelik gruplarından birer malzeme ve kalıp alanında kullanılan malzemelerden birinin seçilmesi düşünülmüştür. Buna göre deneyler için:

- 42 CrMo4 (SAE $\approx$ 4150)-ıslah çeliği,
 - 16 MnCr5 -sementasyon çeliği,
 - X 40 CrMoV 5 1 (SAE H13) - takım çeliği
- seçilmiştir.

42 CrMo4 ıslah çeliği yüksek değişken kuvvetlere maruz kalan, mil, krank mil, biyel, civata vb. gibi makina elemanlarında kullanılmaktadır. 16 MnCr5 sementasyon çeliği, SAE 8620'in daha ucuz bir alternatifi olarak dişli çarkların imalatında

kullanılmaktadır. X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği ise metal ve metal olmayan (plastik, cam) gibi malzemeler için kalıp malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tüm malzemeler $RC=40\pm 2$ 'ye kadar sertleştirilmiştir.

Deney malzemelerin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri DIN standardına göre Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1 DIN standardına göre deney malzemelerin kimyasal bileşimleri

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
42 CrMo 4	0,38.. 0,45	0,15.. 0,40	0,50.. 0,80	0,035	0,035	0,90.. 1,2	0,15.. 0,30	
16 MoCr 5	0,14.. 0,19	0,15.. 0,40	1,00.. 1,30	0,035	0,035	0,80.. 1,10	.	
X 40 CrMoV 5 1	0,37.. 0,43	0,90.. 1,20	0,30.. 0,50	0,03	0,03	4,80.. 5,50	1,20.. 1,50	0,90.. 1,10

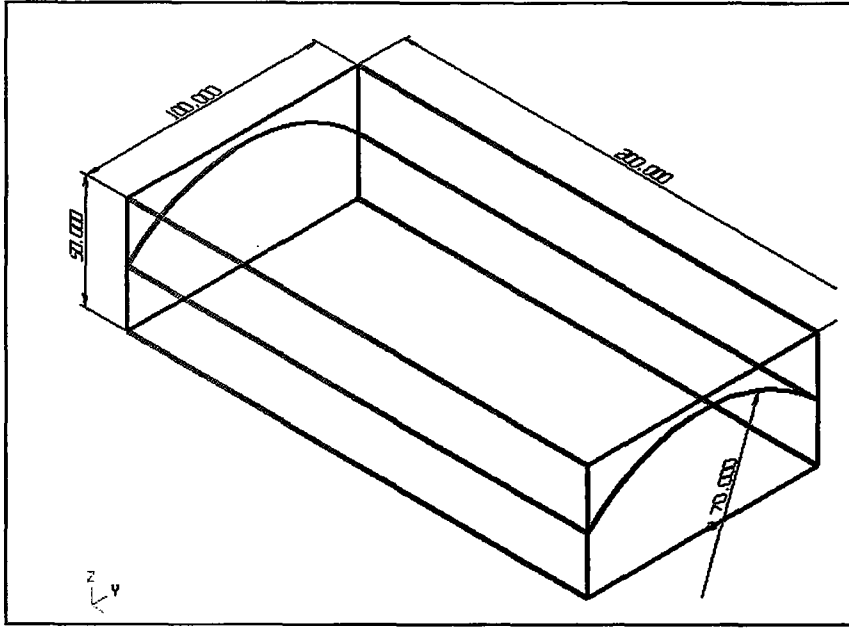
Tablo 5.2 DIN standardına göre deney malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma sınırı N/mm2 (0,2 sınırı) en az	Çekme kopma sınırı Rm - N/mm2	Kopma uzaması % en az (Lo=5do)	
42 CrMo 4	883	1079...1275	10	
16 MoCr 5	589	785...1080	10	d=30 mm için
X 40 CrMoV 5 1	-	-	-	-

5.4.2 Deney Parçalarının Şekli

Deney için parçaların hammadde olarak şekilleri $b \times L \times h = 100 \times 200 \times 50$ mm boyutunda bir prizmatik blok şeklindedir. Bu blok işlenerek Şekil 5.5 'de gösterilen ve üst kısmı bombeli ($R= 70$ mm) olan şekle, üzerinde 1.5 mm işleme payı

bırakılarak getirilmiştir. Bundan sonra parça üzerinde boyuna nihai frezeleme işlemi uygulanarak deneyler yapılmıştır.



Şekil 5.5 Deney parçaların hammadde ve işlenmiş şekli

5.5 Talaş Kaldırma Koşulları

Bilindiği gibi kesme koşulları; kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığını kapsamaktadır. Deneyler ilerleme ve paso kalınlığını sabit tutarak dört kesme hızında yapılmıştır. Takım malzemesinin tam kabiliyetini görmek için kesme hızları olarak:

$$v = 125 \quad 225 \quad 325 \quad 400 \text{ m/dak}$$

değerleri seçilmiştir. Sabit tutulan ilerleme

$$s=0,2 \text{ mm/dev}$$

ve paso kalınlığı

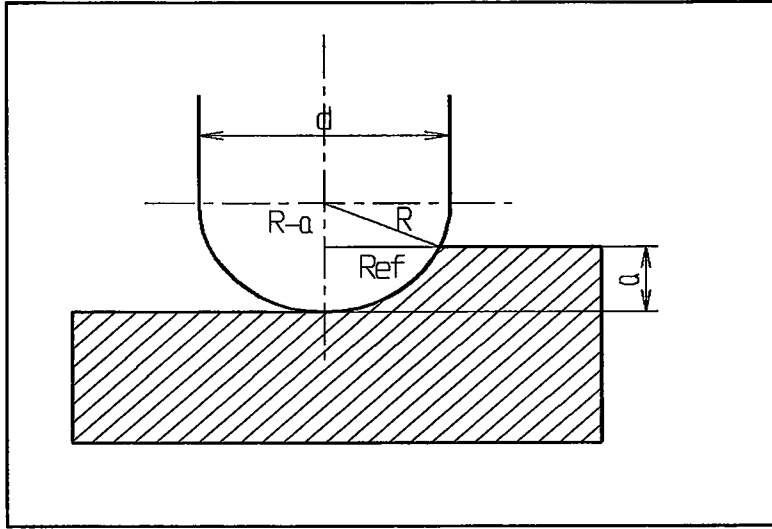
$$a=1,5 \text{ mm}$$

olarak seçilmiştir ve kullanılan takımdaki takım ucu açıları da sabit tutulmuştur.

Yukarıda da açıklandığı gibi küresel parmak frezelerde (Şekil 5.3b), kesme hızı takımın efektif çapı ve bu da paso kalınlığına bağlıdır. Şekil 5.6 'ya göre takımın efektif yarıçapı

$$R_{ef} = \sqrt{R^2 - (R - a)^2}$$

ve efektif çapı $d_{ef}=2R_{ef}$ bağıntıları ile hesaplanır.



Şekil 5.6 Talaş kaldırma sırasında küresel parmak frezenin geometrisi

Buna göre Tablo 5.3 'de $a=1,5$ mm için takımın efektif çapı ve

$$n = \frac{1000}{\pi} \frac{v}{2\sqrt{d_{ef} \cdot a - a^2}}$$

bağıntısına göre hesaplanan, kesme hızlarına karşılık gelen dönme hızları verilmiştir.

Tablo 5.3 Takımın paso kalınlığına göre efektif çapı ve dönme hızları

D (mm)	R (mm)	a (mm)	R-a (mm)	R _{ef} (mm)	d _{ef} (mm)	v (m/dak)	n (dev/dak)
12	6	1,5	4,5	3,969	7,937	400	16041,3 1
12	6	1,5	4,5	3,969	7,937	325	13033,5 6
12	6	1,5	4,5	3,969	7,937	225	9023,24
12	6	1,5	4,5	3,969	7,937	125	5012,91

Görüldüğü gibi tezgah dönme hızlarını karşılamaktadır.

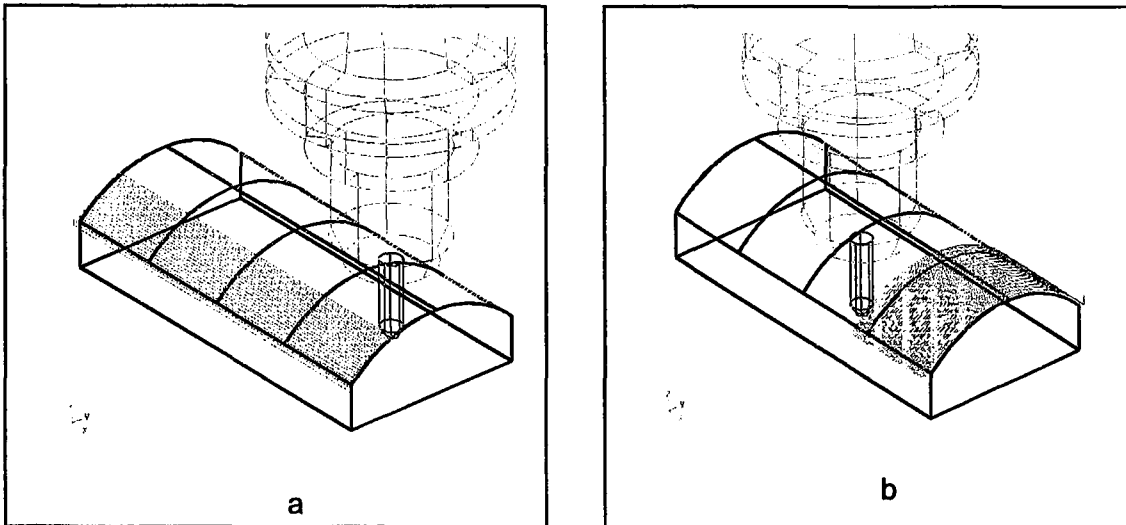
Deneylerde % 10 emülsiyon kesme sıvısı kullanılmıştır.

Tablo 5.4 'de deney faktörleri bir arada verilmiştir.

Tablo 5.4 Deney faktörleri				
Tezgah	SUPERMAX YCM-V105 A			
Takım malzemeleri	CBN	Karbür; TiAlCN kaplı	Karbür; TiCN kaplı	Karbür SM
Takım tipi	Küresel parmak freze d=12 mm			
Parça malzemesi	42 CrMo 4	16 MnCr 5	X 40 CrMoV 5.1	
Kesme hızı (m/dak)	125	225	325	400
İlerleme (mm/dev)	0,2			
Paso kalınlığı (mm)	1,5			
Kesme sıvısı	% 10 emulsiyon			

5.6 DENEY YÖNTEMİ

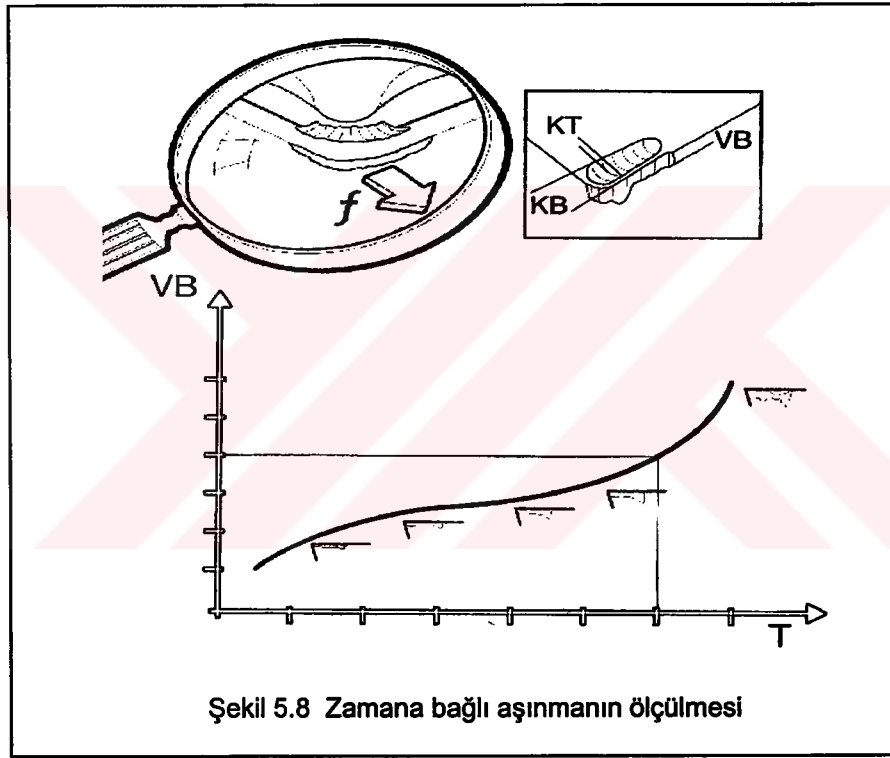
Deney parçaları sertleştirildikten, yıkandıktan ve kurutulduktan sonra tezgaha bağlanmış ve işlenmeye başlanmıştır. Parçaların aynı yere ve aynı şekilde tutturmalarına özen gösterilmiştir. Parçalar kaba ve ince talaş ayırımı yapmadan aynı kesme koşullarında hammadde halinden Şekil 5.5 'de gösterilen şekli alıncaya kadar işlenmiştir.



Şekil 5.7 Deney parçalarının işleme yöntemleri

İşleme parçanın bir köşesinden başlayarak Şekil 5.7a 'de gösterildiği gibi parçanın boyuna göre yapılmıştır. İşleme yönü bakımından, parçalar enine (Şekil 5.7b) ve boyuna (Şekil 5.7a) göre işlenmiş ve aşınma olayını gözlemek için en iyi işlem parça boyuna göre olduğu kanaate varılmıştır. Bunun bir nedeni de boyuna işlemede takımın parçaya göre daha az giriş ve çıkış yapmasıdır.

- ◆ İşleme sırasında $t = 4, 6, 10, 16, 20, 24, 31, 41, 50$ dakikanın sonunda takım; kırılmalar, çimdiklemeler, aşınma çentikleri vb. bakımından incelenmiş ve aşınmalar bir mikroskopla ölçülmüştür (Şekil 5.8). Aşınma, Şekil 5.9 'da gösterildiği gibi düzgün olmayan bir şeklide meydana gelmektedir. Bununla beraber aşınmanın gelişmesini gösteren parametre olarak ortalama bir aşınma değeri VB_m alınmıştır.

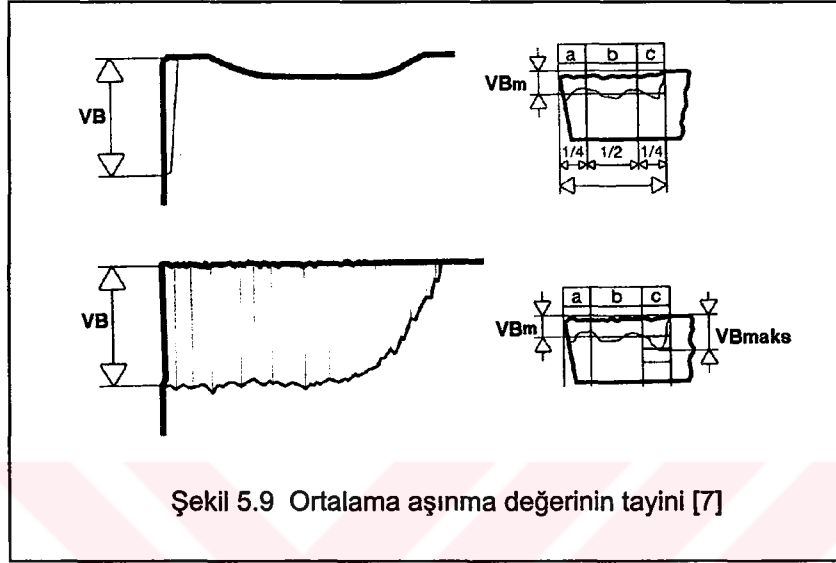


Şekil 5.8 Zamana bağlı aşınmanın ölçülmesi

Ölçmelerde referans olarak takımın orijinal ağzı alınmıştır. Alınan kısım üç bölgeye bölünmüş ve bu üç bölgedeki aşınma değerleri ile ortalama aşınma bulunmuştur. Bazı durumlarda bazı bölgelerde maksimum bir aşınma meydana gelmektedir. Bu durumda ortalama aşınmanın hesabında bu bölgedeki aşınma dikkate alınmamış, ancak VB_{maks} maksimum aşınma değeri de ölçülmüş ve bunun yeri de kaydedilmiştir.

Aşınma değerleri ölçüldükten sonra, VBm-T (ortalama aşınma-zaman) koordinat sisteminde aşınma değerleri girilmiş ve zamana bağlı aşınma gelişme eğrileri çizilmiştir.

Tüm veri toplama, veri işleme ve diyagramların çiziminde Microsoft Excel programı kullanılmıştır.



6. DENEY SONUÇLARI VE BUNLARIN İŞLENMESİ

6.1 DENEY SONUÇLARI

Bölüm 5'te açıklanan yöntemdeki ölçülen aşınma değerlerine dayanarak, VBm ortalama aşınma değerleri hesaplanmış ve bu değerler tablo şeklinde düzenlenmiştir. Tablolar takımlara göre gruplandırılmış olup, şu şekilde düzenlenmiştir.

Tablo 6.1 Takım CBN, parça malzemesi 42CrMo4,

Tablo 6.2 Takım CBN, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Tablo 6.3 Takım CBN, parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği,

Tablo 6.4 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi 42CrMo4,

Tablo 6.5 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Tablo 6.6 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği,

Tablo 6.7 Takım TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi 42CrMo4,

Tablo 6.8 Takım TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Tablo 6.9 Takım TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği,

Tablo 6.10 Takım SM-kaplamasız, parça malzemesi 42CrMo4,

Tablo 6.11 Takım SM-kaplamasız, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Tablo 6.12 Takım SM-kaplamasız, parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği,

Tablo 6.1 Takım CBN, parça malzemesi 42CrMo4

Takım: CBN										
Malzeme: 42 CrMo4-ıslah çeliği										
t (dak)=	0	4	6	10	16	20	25	31	41	42
v=125 m/dak	0	0,060	0,070	0,100	0,102	0,109	0,117	0,114	0,127	0,310
v=225 m/dak	0	0,065	0,090	0,125	0,133	0,135	0,140	0,160	0,200	0,371
v=325 m/dak	0	0,070	0,110	0,142	0,167	0,194	0,203	0,220	0,290	0,460
v=400 m/dak	0	0,105	0,160	0,200	0,220	0,260	0,400			

Tablo 6.2 Takım CBN, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Takım:CBN										
Malzeme: X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	28	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,11	0,13	0,18	0,25	0,29	0,32	0,34	0,38	0,47
v=225 (m/dak)	0	0,12	0,16	0,23	0,33	0,39	0,43	0,46	0,55	0,62
v=325 (m/dak)	0	0,13	0,20	0,27	0,37	0,45	0,49	0,56	0,64	0,75
v=400 (m/dak)	0	0,19	0,29	0,36	0,47	0,65	0,73			

Tablo 6.3 Takım CBN, parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği

Takım: CBN										
Malzeme:16MnCr5-sementasyon çeliği										
t (dak)		4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)		0,07	0,08	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,16	0,34
v=225 (m/dak)		0,07	0,10	0,14	0,15	0,15	0,16	0,18	0,22	0,41
v=325 (m/dak)		0,08	0,12	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,32	0,51
v=400 (m/dak)		0,12	0,18	0,22	0,24	0,29	0,44			

Tablo 6.4 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi 42CrMo4

Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama										
Malzeme:42CrMo4										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,10	0,12	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,30	0,45
v=225 (m/dak)	0	0,11	0,15	0,18	0,22	0,24	0,27	0,30	0,37	0,66
v=325 (m/dak)	0	0,12	0,18	0,22	0,24	0,27	0,31	0,35	0,46	0,77
v=400 (m/dak)	0	0,18	0,24	0,29	0,37	0,42	0,67			

Tablo 6.5 Takım : TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği

Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama										
Malzeme:X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,195	0,228	0,290	0,340	0,390	0,410	0,420	0,610	0,845
v=225 (m/dak)	0	0,211	0,293	0,340	0,420	0,490	0,540	0,610	0,760	1,105
v=325 (m/dak)	0	0,228	0,358	0,410	0,420	0,580	0,625	0,710	0,840	1,333
v=400 (m/dak)	0	0,341	0,520	0,642	0,845	0,990	1,300			

Tablo 6.6 Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama, parça malzemesi:16MnCr5-sementasyon çeliği

Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama										
Malzeme:16MnCr5-sementasyon çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,12	0,14	0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,36	0,54
v=225 (m/dak)	0	0,13	0,18	0,21	0,26	0,29	0,32	0,36	0,44	0,79
v=325 (m/dak)	0	0,14	0,22	0,26	0,29	0,32	0,37	0,42	0,55	0,91
v=400 (m/dak)	0	0,21	0,29	0,35	0,44	0,42	0,79			

Tablo 6.7 Takım : TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi 42CrMo4

Takım: TiCN üçlü kaplama										
Malzeme:42CrMo4										
t (dak)	0	3	6	10	16	20	26	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,12	0,14	0,19	0,22	0,24	0,26	0,30	0,36	0,54
v=225 (m/dak)	0	0,13	0,18	0,22	0,27	0,29	0,32	0,36	0,44	0,79
v=325 (m/dak)	0	0,14	0,22	0,26	0,29	0,32	0,37	0,42	0,55	0,92
v=400 (m/dak)	0	0,21	0,32	0,40	0,51	0,60	0,85			

Tablo 6.8 Takım TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği

Takım: TiCN üçlü kaplama										
Malzeme:X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,234	0,273	0,348	0,408	0,468	0,492	0,600	0,732	1,014
v=225 (m/dak)	0	0,254	0,351	0,408	0,424	0,588	0,648	0,732	0,912	1,326
v=325 (m/dak)	0	0,273	0,429	0,492	0,600	0,696	0,742	0,852	1,008	1,599
v=400 (m/dak)	0	0,410	0,624	0,780	1,014	1,188	1,560			

Tablo 6.9 Takım TiCN üçlü kaplama, parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği

Takım: TiCN üçlü kaplama										
Malzeme:16MnCr5-sementasyon çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,14	0,16	0,22	0,25	0,28	0,30	0,35	0,41	0,62
v=225 (m/dak)	0	0,15	0,21	0,25	0,31	0,33	0,37	0,41	0,51	0,91
v=325 (m/dak)	0	0,16	0,25	0,30	0,33	0,40	0,43	0,48	0,63	1,06
v=400 (m/dak)	0	0,28	0,35	0,46	0,59	0,71	0,95			

Tablo 6.10 Takım : SM-kaplamasız, parça malzemesi 42CrMo4,

Takım: SM-kaplamasız										
Malzeme:42CrMo4										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,17	0,20	0,27	0,30	0,34	0,37	0,42	0,42	0,76
v=225 (m/dak)	0	0,18	0,25	0,30	0,37	0,40	0,45	0,42	0,62	1,11
v=325 (m/dak)	0	0,20	0,31	0,37	0,40	0,45	0,52	0,59	0,77	1,29
v=400 (m/dak)	0	0,32	0,42	0,63	0,90	1,12				

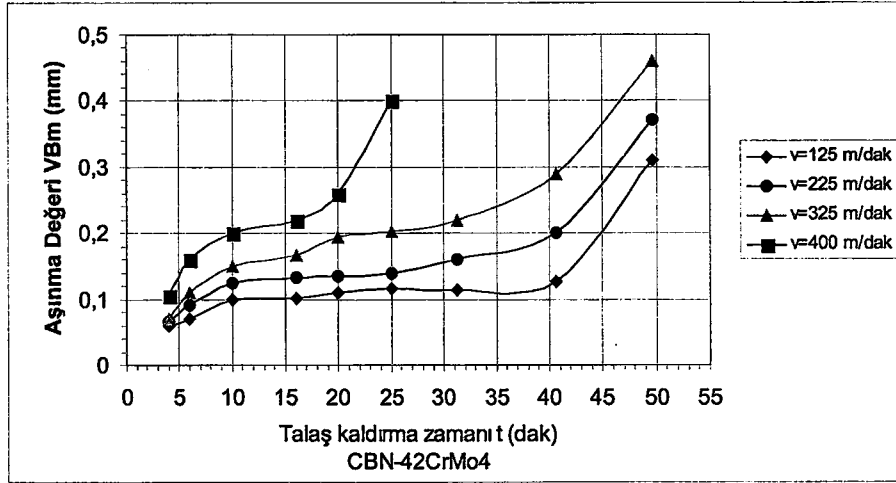
Tablo 6.11 Takım: SM-kaplamasız, parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği,

Takım: SM-kaplamasız										
Malzeme:X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v=125 (m/dak)	0	0,328	0,382	0,487	0,571	0,655	0,689	0,840	1,025	1,420
v=225 (m/dak)	0	0,355	0,491	0,571	0,706	0,823	0,907	1,025	1,277	1,856
v=325 (m/dak)	0	0,382	0,601	0,689	0,840	0,974	1,042	1,193	1,411	2,239
v=400 (m/dak)	0	0,573	0,874	1,220						

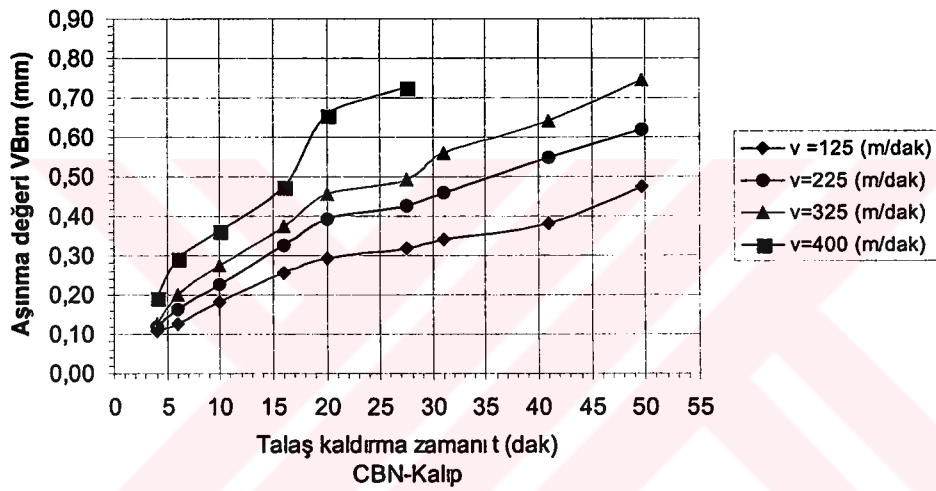
Tablo 6.12 Takım: SM-kaplamasız , parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği

Takım: SM-kaplamasız										
Malzeme:16MnCr5-sementasyon çeliği										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	24	31	41	42
v =125 (m/dak)	0	0,19	0,22	0,31	0,34	0,38	0,42	0,48	0,57	0,86
v=225 (m/dak)	0	0,21	0,29	0,34	0,42	0,46	0,52	0,57	0,71	1,26
v=325 (m/dak)	0	0,22	0,35	0,42	0,46	0,52	0,59	0,67	0,88	1,47
v=400 (m/dak)	0	0,34	0,46	0,69	1,05	1,28				

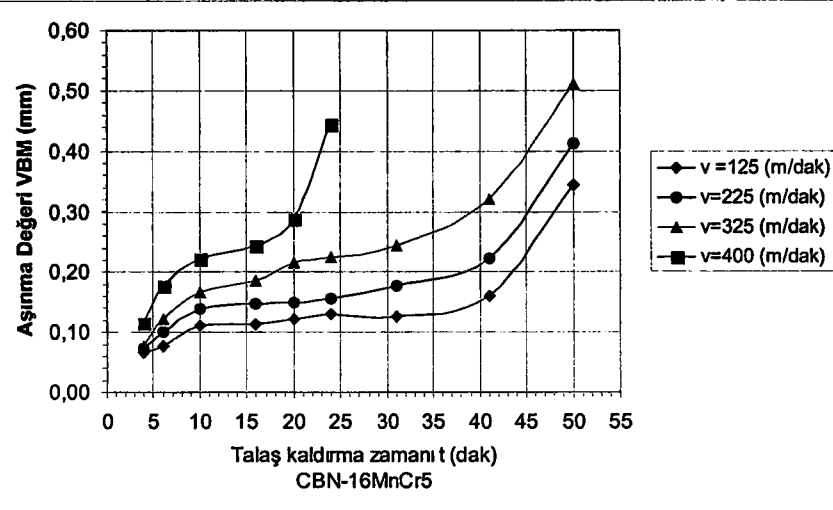
Daha sonra tablodaki değerler dayanarak, her takım ve parça malzemesi için v=125 m/dak, v=225 m/dak, v=325 m/dak ve v=400 m/dak kesme hızlarına göre diyagramlar çizilmiştir. Bu diyagramlar aşağıda verilmiştir.



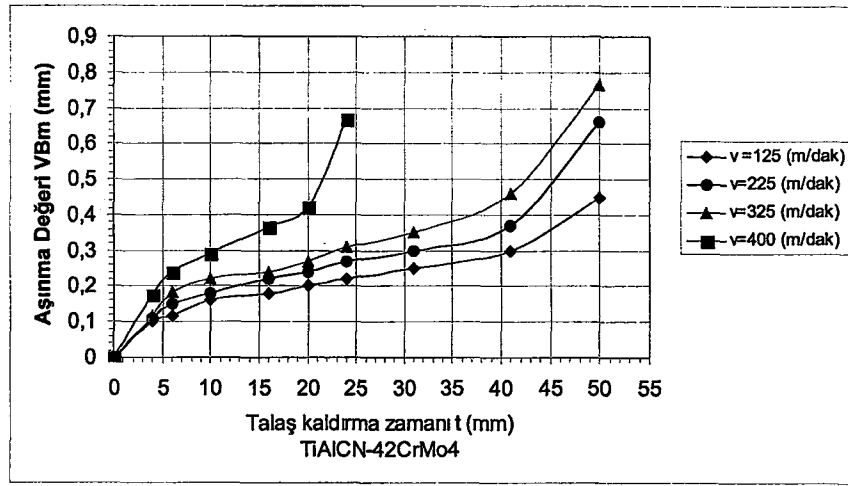
Şekil 6.1 Takım CBN - parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri



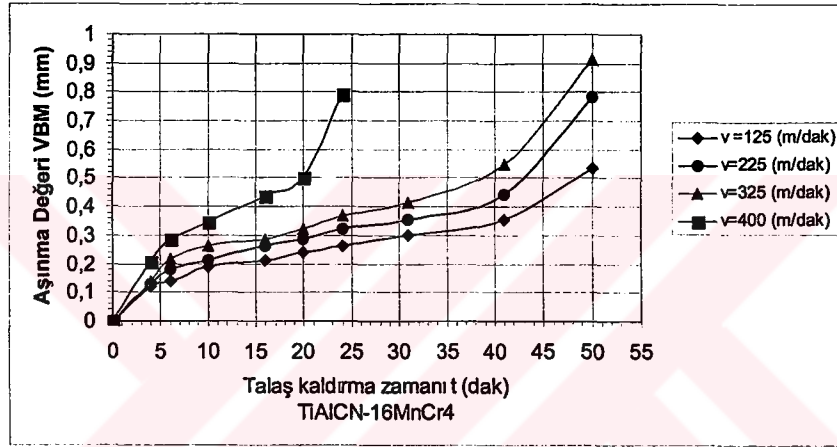
Şekil 6.2 Takım CBN - parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği için aşınma değerleri



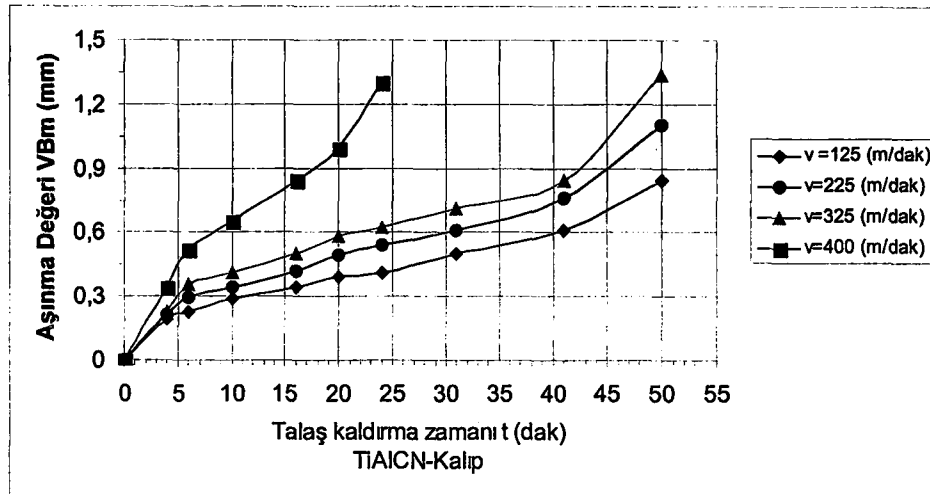
Şekil 6.3 Takım CBN - parça malzemesi: 16MnCr5-sementasyon çeliği için aşınma değerleri



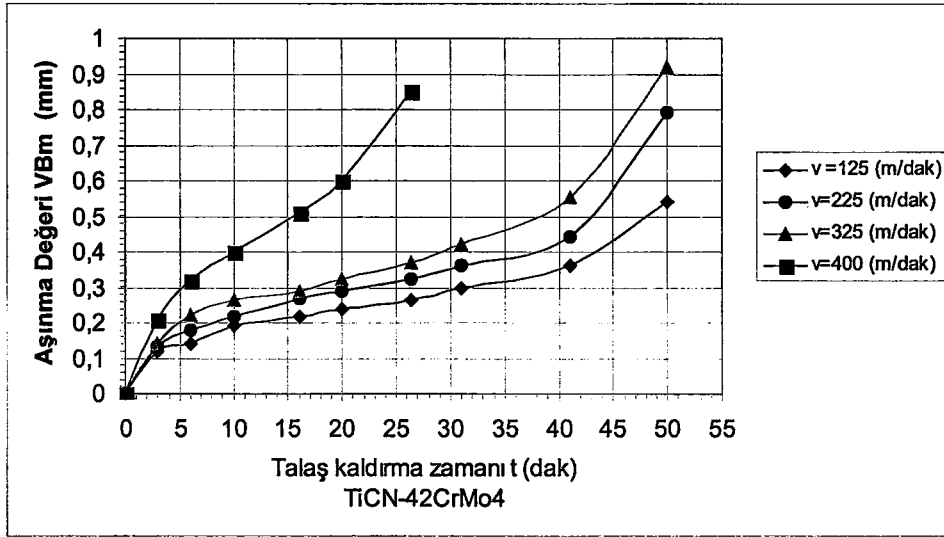
Şekil 6.4 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri



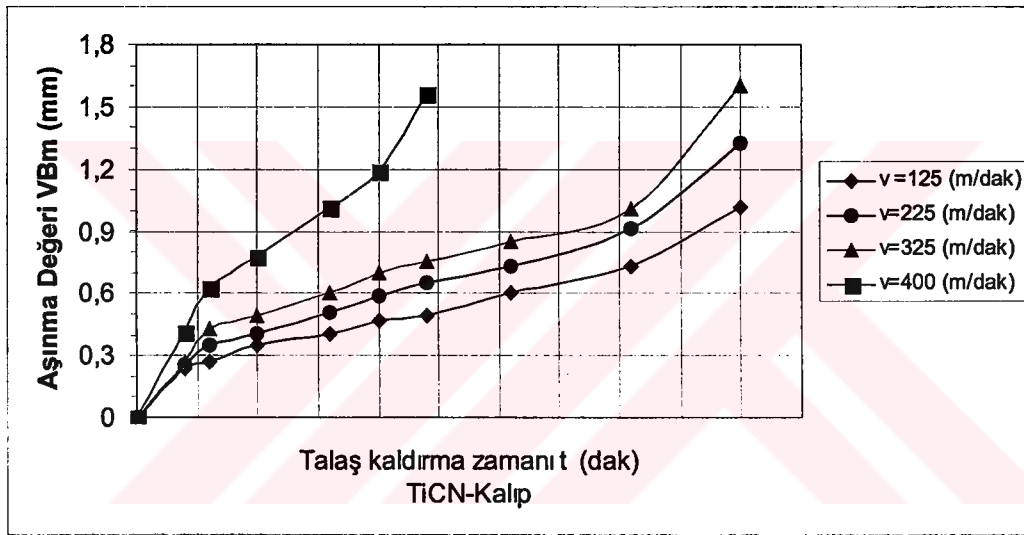
Şekil 6.5 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği için aşınma değerleri



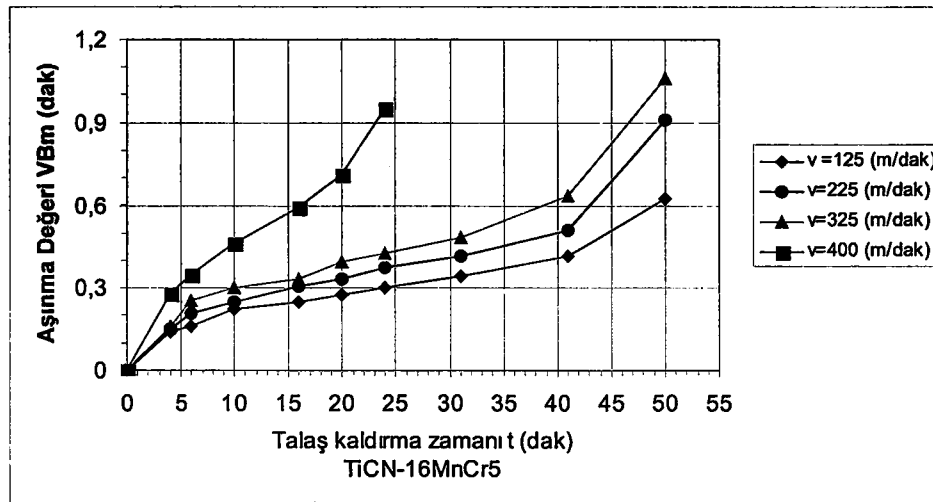
Şekil 6.6 Takım TiAlCN (dörtlü) kaplama- parça malzemesi 16MnCr4 için aşınma değerleri



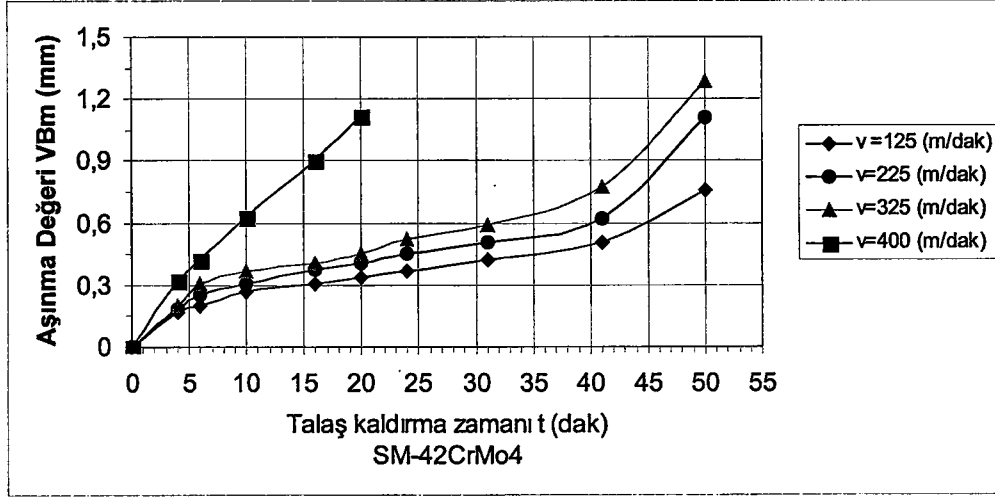
Şekil 6.7 Takım TiCN kaplama- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri



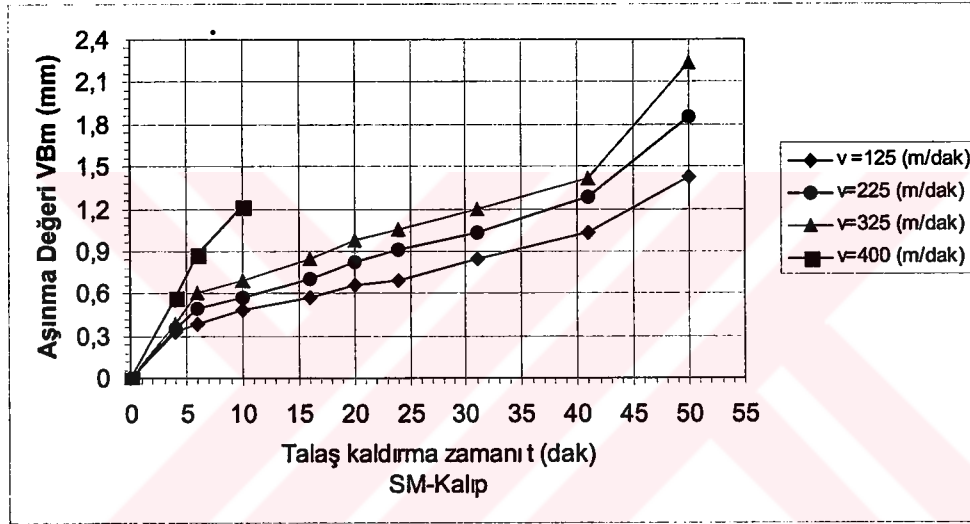
Şekil 6.8 Takım TiCN kaplama- parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği için aşınma değerleri



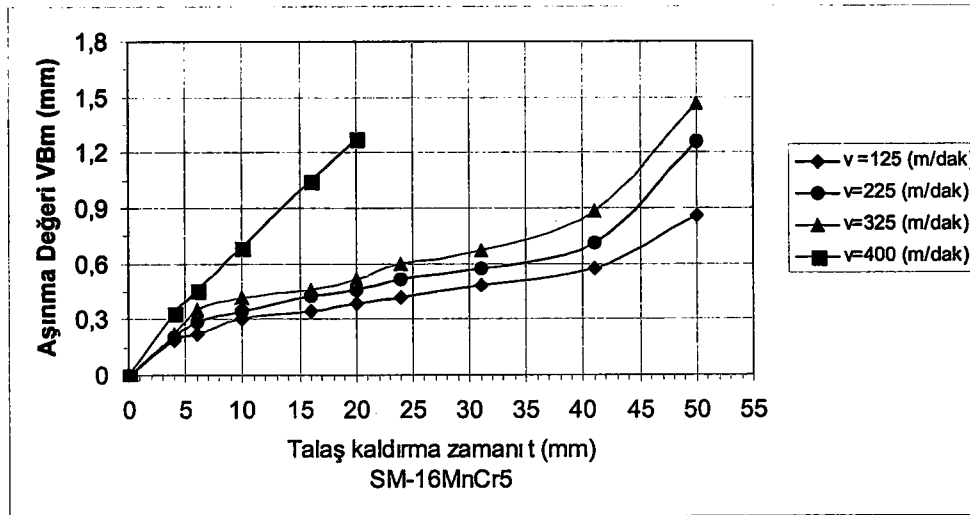
Şekil 6.9 Takım TiCN kaplama- parça malzemesi 16MnCr5 için aşınma değerleri



Şekil 6.10 Takım SM- parça malzemesi 42CrMo4 için aşınma değerleri



Şekil 6.11 Takım SM- parça malzemesi X 40 CrMoV 5 1 takım çeliği için aşınma değerleri



Şekil 6.12 Takım SM- parça malzemesi 16MnCr5 için aşınma değerleri

7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ VE HIZLI TALAŞ KALDIRMA TEORİSİ

7.1. Aşınma Mekanizması ve Gelişmesi.

Takım üzerinde yapılan incelemeler; kesmenin ilk kademesinde takım aşınması, kesme hızının maksimum olduğu yerde başlar. Kesmenin ilerlemesi ile, parça ile temasın tüm uzunluğu boyunca düzgün bir takım aşınması gelişir.

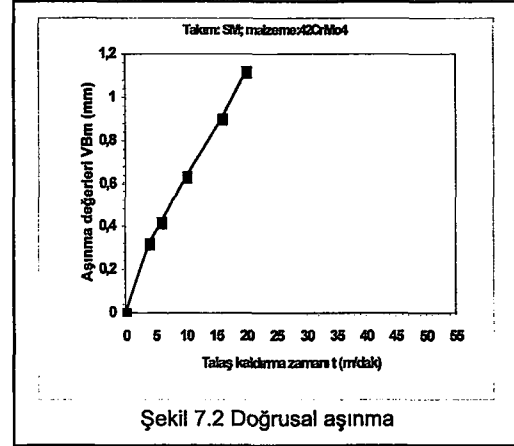
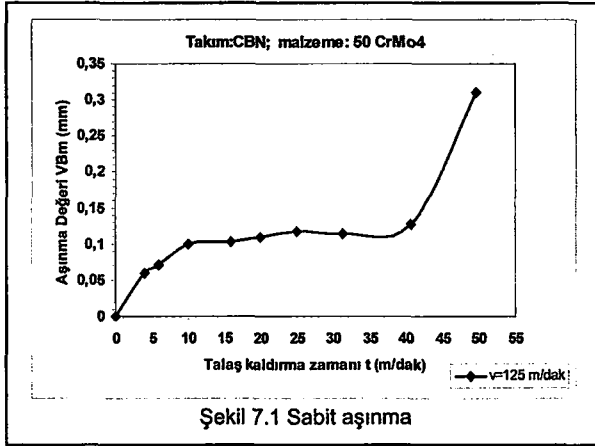
Tüm deneylerde aşınma adezyon aşınması şeklinde olmuştur. Krater tipi aşınma görülmemiştir. Tüm takımlarda aşınma serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Bununla beraber mikroskopla yapılan incelemelerde, kesme koşullarına bağlı olarak talaş yüzeyinde özellikle kaplamasız sert metalde plastik deformasyon izleri görülmüştür. Ayrıca bazı durumlarda takımın kesme ağzında çimdiklenme (çentik) şeklinde, ufacık parçacıkların koptuğu görülmüştür.

Ayrıca CBN takım malzemesinde, bu malzemenin bağlayıcı malzemesini oluşturan kobaltın, talaşa nüfus etmesi olayına rastlanmıştır. Bu olay takım strüktürünün bağlamasını zayıflatmakta ve serbest yüzeyde abrazyon aşınması meydana getiren bazı CBN parçacıkların ayrılmasına neden olmaktadır. Belki bu parçacıklar, takım ağzında çentik aşınması meydana getirmiş olabilir.

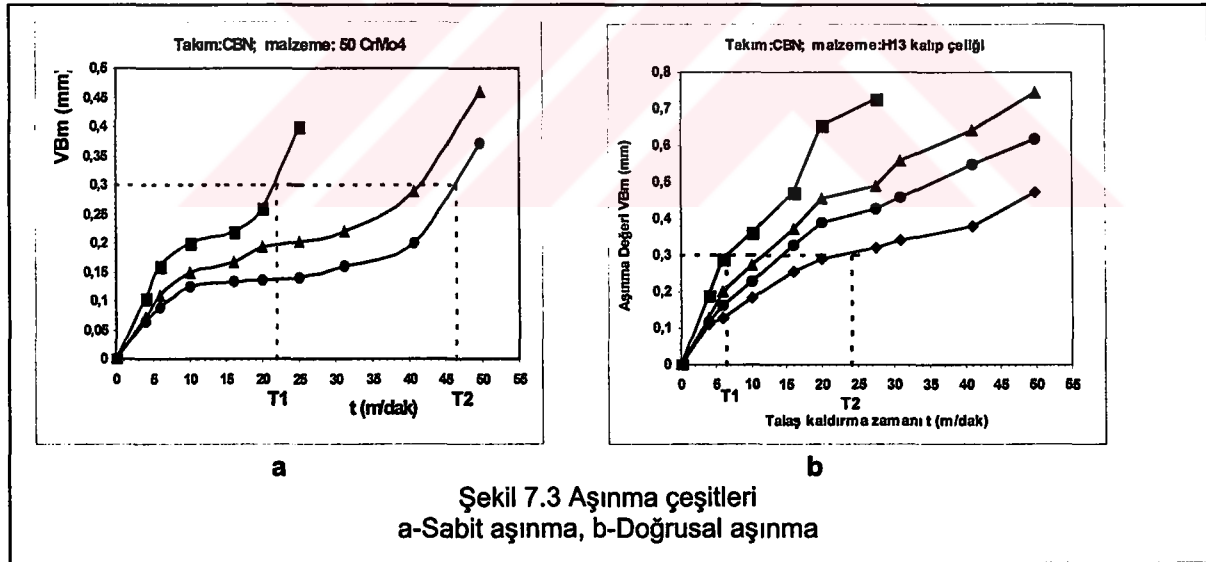
Bununla beraber Şekil 6.1'den 6.12'ye kadar verilen diyagramların incelenmesinden, kesmenin başlangıcında oldukça yüksek bir aşınma meydana geldiği görülür. Bundan sonra aşınma iki modele göre gelişir.

- Birincisinde Şekil 7.1'de gösterildiği gibi, hızlı bir büyümeden sonra aşınma sabit kalmakta ($VB=\text{sabit}$) yani t zamanına göre aşınma oranı $dVB/dt=0$ olmakta, ancak belirli bir zamandan sonra hızlı bir büyüme başlamaktadır. Bu aşınmaya, normal (sabit) aşınma denilecektir.
- İkincisi Şekil 7.2'de gösterildiği gibi, ilk andaki hızlı büyümeden sonra aşınma sürekli büyümektedir. Büyüme doğrusal olarak kabul edilebilir ve bu durumda

aşınma oranı sabit $dVB/dt=sabit$ alınabilir. Bu aşınma çeşidine doğrusal aşınma denilecektir.



• Bununla beraber, her iki modelin, Şekil 7.3a'da sabit aşınma ve Şekil 7.3b'de doğrusal aşınma için gösterildiği gibi, çeşitlilikleri vardır. Bu şekillerden görüldüğü gibi, sabit aşınmayı (Şekil 7.3a) karakterize eden, sabit aşınma kısmının uzunluğu yani fiziksel olarak zamanıdır. Doğrusal aşınmada ise (Şekil 7.3b), aşınma eğrisi analitik olarak $y=mx$ şeklinde temsil edilirse, aşınma özelliğini eğim m tayin etmektedir.



• Aşınmanın pratik bakımından bir sonucu, takım ömrünü tayin etmesidir. Genelde takım ömrü, takımın körlenmesine kadar geçen işleme zamanı olarak ifade edilmektedir. Ancak takım körlenmesi, insandan insana, işten işe değiştiği için subjektif olup, kesin bir ifade değildir. Bunun yerine takım ömrü için objektif bir kriter olarak parçanın yüzey kalitesi veya titreşimler (tırlama) alınabilir. Tezde takım ömrü

kriteri olarak yüzey kalitesi alınmıştır. Bu durumda yüzey kalitesinin bozulacağı aşınmanın maksimum değerinin tayin edilmesi gerekir. Bu husus daha sonra tezin bir araştırması olarak ele alınacaktır. Ancak burada, şimdiye kadar yapılan incelemelere dayanarak, kaba veya ince talaşta, istenilen yüzey kalitesine bağlı olarak aşınmanın maksimum değeri 0,3 mm ila 0,8 mm arasındadır.

- Takım ömrünü tayin eden aşınma büyüklüğü için yukarıda verilen herhangi bir değer örneğin 0,3 mm alınırsa ve bu değer Şekil 7.3'te verilen diyagramlara taşınırsa şu sonuçlar elde edilir.

- ◆ Sabit aşınmada; sabit aşınma zamanı ne kadar daha büyük olursa takım ömrü o kadar daha büyük olur (Şekil 7.3a).

- ◆ Doğrusal aşınma için doğrunun eğimi ne kadar küçük olursa takım ömrü o kadar daha büyük olur.

- Yukarıdaki sonuç aşınmanın gelişmesini dikkate almamakta, yani sabit aşınma ile doğrusal aşınma arasında bir fark göstermektedir. Bu husus Literatürde de , hemen, hemen hiç incelenmemiştir. Halbuki bu iki aşınma arasında etki bakımından bir fark vardır. Takım ömrü, aşınmanın yüzey kalitesi bakımından parçaya zarar verme ifadesine bağlanırsa o zaman,

- ◆ Sabit aşınmada, takım aşınması uzun bir süre sabit kaldığı için paçaya bu süre içinde bir zarar vermemekte yani yüzey kalitesi aynı kalmaktadır. Ancak aşınmanın büyümeye başladığında yüzey kalitesi bozulmaya başlamaktadır.

- ◆ Doğrusal aşınmada, aşınma sürekli büyüdüğü için, parçaya sürekli zarar verilmekte, yani parçanın yüzey kalitesi sabit kalmayıp gittikçe kötüleşmektedir.

- Aşınma gelişmesi ile ilgili sonuçlar. Yukarıda açıklanan kısa incelemeye dayanarak, aşınma gelişmesi ile ilgili şu sonuçlar elde edilir.

- ☞ Aşınmanın, sabit aşınma şeklinde gelişmesi, yüzey kalitesini işleme boyunca sabit tuttuğu için, doğrusal aşınmadan daha iyi bir gelişmedir.

- ☞ Sabit aşınmada, sabit aşınma zamanı ne kadar daha büyük olursa, takım ömrü o kadar daha büyük olur.

- ☞ Doğrusal aşınmada doğrunun eğimi ne kadar daha az olursa, takım ömrü o kadar daha büyük olur.

Bu sonuçlar, tezde çeşitli takım ve parça malzemelerin deneylerinden elde edilen aşınma sonuçların karşılaştırılmasında, karşılaştırma kriterleri olarak kullanılacaktır.

■ Aşınma ile ilgili açığa kavuşturulması gereken bir husus, aşınmanın gelişmesini gösteren ve bir yerde takım ömrünü tayin eden parametre olarak hangi faktörün alınmasıdır. Ortalama aşınma VB_m mi, yoksa maksimum takım aşınması VB_{maks} mı? Bizim yaptığımız gözlemlere göre, maksimum aşınma parça yüzey kalitesi üzerine menfi bir etki yapmamaktadır. Ortalama aşınma belirli bir büyüklüğe eriştiğinde, yüzey kalitesini bozmaya başlamaktadır. Zaten bu bölümün başında da açıklandığı gibi, aşınma maksimum hızın olduğu yerde başlar ve sonra parça ile temasın tüm uzunluğu boyunca düzgün bir takım aşınması şeklinde gelişir.

7.2. Deneylerde Kullanılan Takım ve Parça Malzemelerinin Karşılaştırılması

Karşılaştırma yukarıda belirtilen, aşınmanın gelişme tipine, sabit aşınma zamanına ve aşınma doğrusunun eğimine göre yapılacaktır.

1. Aşınma gelişme tipine göre karşılaştırma. Şekil 6.1'den 6.12'ye kadar verilen diyagramların incelenmesinden görüldüğü gibi, deneylerde kullanılan tüm takımlarda parça malzemesinin sertliği yükseldikçe, sabit bir aşınma tipinden, doğrusal bir aşınma tipine gidilmektedir. Örneğin en yüksek sertliğe sahip takım malzemesi için hemen hemen tüm takımlarda aşınma tipi doğrusaldır.

- Bununla beraber her takım malzemesi için kesme hızı artıkça aşınma gelişme tipi, sabit aşınmadan doğrusal aşınmaya doğru yönelmekte ve $v=400$ m/dak kesme hızında doğrusal veya doğrusala çok yakın olmaktadır.

- Takımlar arası en iyi davranışı CBN takımı göstermiştir. Bu takımın özellikle makina konstrüksiyonunda oldukça yaygın bir şekilde kullanılan 42CrMo4 ıslah çeliği ve 16MnCr5 sementasyon çeliği için çok iyi bir aşınma davranışı vardır. Bu malzemeler için aşınma gelişme tipi, sabit aşınma zamanı oldukça yüksek olan sabit aşınma tipidir. Bu malzemeler için $v=400$ m/dak kesme hızında dahi aşınma tipi sabit aşınma tipidir.

- Davranış bakımından ikinci sırada dördü kaplama malzemesine sahip TiAlCN kaplı sert takım malzemesi yer almıştır. Bu takımın aşınma gelişme tipi, sabit

aşınma tipidir. Hatta bu takım, kalıp malzemesi ve $v=400$ m/dak için de sabit aşınma gelişme tipine sahiptir.

- Üçüncü sırada TiCN ile kaplı sert takım malzemesi yer almaktadır. Bu takım malzemesinin aşınma gelişme davranışı TiAlCN ile kaplanmış sert takım malzemesine benzemektedir. Ancak TiCN değer bakımından, aynı çalışma zamanlarına göre daha yüksek aşınma değerlerine sahiptir.

- Benzer bir davranış dördüncü sırada yer alan kaplanmamış sert metal takım malzemesi göstermektedir. Bu benzerlik özellikle $v=125$ m/dak, $v=225$ m/dak ve $v=325$ m/dak kesme hızları için geçerlidir. Ancak $v=400$ m/dak'da bu takımın aşınma gelişmesi belirgin bir şekilde doğrusal olmakta ve değer bakımından diğer hızlardan çok farklı olmaktadır.

■ Bu gözlemlerden şu sonuçlar elde edilebilir.

☞ Deneye tabi tutulan takım malzemeleri aşınma gelişme tipi bakımından iki gruba ayrılabilir: birisi CBN takım malzemesi, diğeri SM (sert metal) malzenmesi. Bu ikincisi de kaplanmış ve kaplanmamış olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

☞ CBN takım malzemesinin aşınma gelişme tipi makina konstrüksiyonunda kullanılan malzemeler için, sabit aşınma zamanları oldukça uzun olan, sabit aşınma tipi göstermekte, kalıp malzemesi için doğrusal tipe yönelmektedir.

☞ Ana malzemeleri sert metal (karbür) olan takım malzemeleri, $v < 400$ m/dak için tüm parça malzemeleri için sabit aşınma tipi göstermektedirler. Ancak sabit aşınma zamanları kaplı olup olmadıkları, kaplı oldukları durumda kaplama malzemesine bağlıdır. Bu bakımından en büyük sabit aşınma zamanı, TiAlCN ile kaplı takım göstermektedir. Bunu TiCN ile kaplı olan takım ve bunu da kaplı olmayan sert takım malzemesi takip etmektedir. Ayrıca bu son takım malzemesi, kaplanmış takımların aksine yüksek hızlarda ($v=400$ m/dak) çok kötü bir davranış göstermektedir.

☞ Ana malzemesi sert metal olan takımların benzer bir şekilde davranması, kanaatimizce takımı oluşturan ana malzemenin bir etkisi olarak algılanması gerekir. Bu hususta şu fikir yürütülebilir. Bir takımın genel davranışını, o takımın ana malzemesi tayin eder. Kaplamalar yalnızca değer bakımından bir iyileştirme meydana getirirler.

☞ Kaplanmamış sert metal takımın $v=400$ m/dak'da farklı davranış ve değerler göstermesi, bu malzemelerin yüksek kesme hızlarında kullanılacak takımlar olmadığını göstermektedir.

3. Kesme hızının etkisi: Şekil 6.1'den 6.12'ye kadar verilen diyagramlarından görüldüğü gibi kesme hızı, hem aşınma değerlerini, hem de aşınmanın gelişme tipini etkilemektedir. Doğal olarak kesme hızı artıkça aynı çalışma zamanı için, aşınma değerleri artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Fakat ilginç olanı kesme hızının aşınmanın gelişme şeklini etkilemesidir.

- Hızın etkisi bakımından CBN ve sert metal takımlar arasında belirgin bir fark görülmektedir. Kesme hızların büyümesi ile, CBN takımında aşınmalar yaklaşık orantılı olarak büyümektedir, yani aşınmanın gelişmesi ne olursa olsun, çeşitli hızları temsil eden eğriler arasında açık bir fark yoktur.
- Sert metal takımlarda ise, $v=400$ m/dak ile diğer hızlar arasında gözle gözüktür bir fark vardır. Bu bakımından $v=125$ m/dak, $v=225$ m/dak, $v=325$ m/dak hızları bir grup, $v=400$ m/dak başka bir grup oluşturmaktadır.
- Bu grupların arasında en küçük fark TiAlCN kaplı takıma aittir. Biraz daha büyük bir fark TiCN kaplı takımda vardır. Kaplamasız sert metalde ise fark çok büyük olmakla beraber, bu takımda $v=400$ m/dak'da aşınmanın gelişmesi doğrusal olmaktadır.

■ Bu gözlemler şu sonuca götürmektedir. Hızların orantılı bir şekilde büyümesine karşın, aşınma değerlerin aşırı derecede büyümesi, o takım malzemesinin yaklaşık kesme hızı sınırına yaklaşıldığı anlamına gelir. Örneğin sert metaller için $v=400$ m/dak, deneylerde kullanılan kesme koşulları için sınır bir hızdır. Belki TiAlCN kaplı takım hala bu hızda kullanılabilir, ancak diğerleri ve özellikle kaplamasız sert metal bu değerde kullanılamaz.

2. Değerlere göre karşılaştırma. Bu hususta bir karşılaştırma yapmak için deneylerde kullanılan takım malzemelerinin, Tablo 7.1, Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'te, aşınma değerleri verilmiştir. Değerler $v=225$ m/dak ve belirli bir çalışma zamanı için geçerlidir. Bu değerlere göre Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da aşınma diyagramları verilmiştir. Burada $v=225$ m/dak kesme hızının seçilmesi, bu hızda tüm malzemelerin iyi bir aşınma davranışı göstermelerine bağlıdır.

Tablo 7.1 42CrMo4 çeliğine bağlı takım aşınmaları

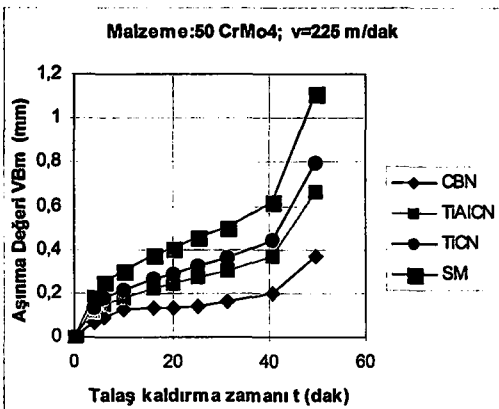
Malzeme: 42 CrMo4 ıslah çeliği, v=225 m/dak										
t (dak)=	0	4	6	10	16	20	25	31	41	50
CBN	0	0,065	0,09	0,125	0,133	0,135	0,14	0,16	0,2	0,371
TiAlCN	0	0,11	0,15	0,18	0,22	0,24	0,27	0,30	0,37	0,66
TiCN	0	0,13	0,18	0,22	0,27	0,29	0,32	0,36	0,44	0,79
SM	0	0,18	0,25	0,30	0,37	0,40	0,45	0,50	0,62	1,11

Tablo 7.2 X40 CrMoV 5 1 takım çeliğine bağlı takımların aşınması

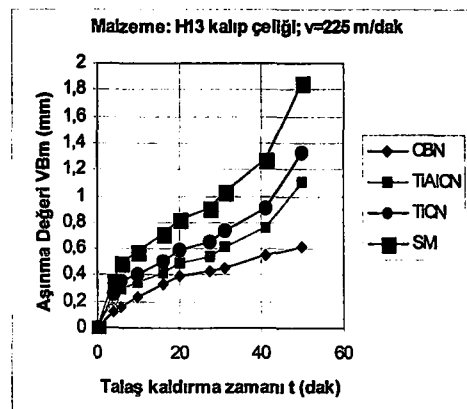
Malzeme: X40CrMoV51 takım çeliği, v=225 m/dak										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	25	31	41	50
CBN	0	0,12	0,16	0,23	0,33	0,39	0,43	0,46	0,55	0,62
TiAlCN	0	0,21	0,29	0,34	0,42	0,49	0,54	0,61	0,76	1,11
TiCN	0	0,25	0,35	0,41	0,50	0,59	0,65	0,73	0,91	1,33
SM	0	0,35	0,49	0,57	0,71	0,82	0,91	1,02	1,28	1,86

Tablo 7.3 16MnCr5 sementasyon çeliğine bağlı takımların aşınması

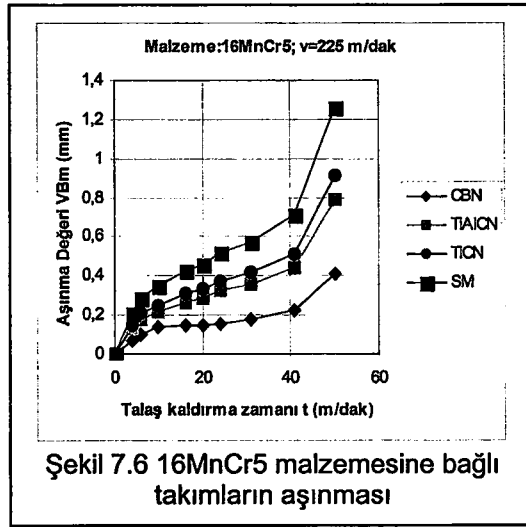
Malzeme: 16MnCr5-sementasyon çeliği, v=225 m/dak										
t (dak)	0	4	6	10	16	20	25	31	41	50
CBN	0	0,07	0,10	0,14	0,15	0,15	0,16	0,18	0,22	0,41
TiAlCN	0	0,13	0,18	0,21	0,26	0,29	0,32	0,36	0,44	0,79
TiCN	0	0,15	0,21	0,25	0,31	0,33	0,37	0,41	0,51	0,91
SM	0	0,21	0,29	0,34	0,42	0,46	0,52	0,57	0,71	1,26



Şekil 7.4 42CrMo4 çeliğine bağlı takımların aşınması



Şekil 7.5 Kalıp malzemesine bağlı takımların aşınması



Yukarıdaki tablo ve diyagramlardan görüldüğü gibi:

- Tüm durumlarda en iyi davranış gösteren CBN takım malzemesidir. Ondan sonra TiAlCN kaplamalı sert metal, onun arkasında TiCN ile kaplı sert metal ve en sonunda kaplamasız sert metal takımı gelmektedir.
- Şekiller dikkatle incelenirse, tüm durumlarda üç takım grubu oluşmuş gibi görünmektedir. Bunlardan birincisi CBN, ikincisi yakın değerlere sahip TiAlCN ve TiCN kaplı sert metal ve üçüncü grup kaplamasız sert metal.
- Elde edilen bu sonuçlar, kullanılan takımların aşağıda verilen özelliklerin ışığı altında kolayca anlaşılabilir..

■ CBN (Kübik Bor Nitrit) elmas'tan sonra ikinci sertliğe sahip takım malzemesidir. Daha önce taşlamada kullanılan bu malzeme, 1980'lerden başlayarak yaygın bir şekilde, şekilli talaş kaldırmada yani tornalama, frezeleme, delik işlemede kullanılmaya başlanmıştır. Tezde yapılan deneylerden de görüldüğü gibi ve kanaatimize göre bu CBN takım malzemesinin yüksek kesme özellikleri, çok yüksek sertliğe ve oldukça iyi bir tokluğa (hiç olmazsa seramiklerde daha tok) sahip olmasından ileri gelmektedir. Ayrıca malzeme, yüksek kızıl sertliğine (2000°C kadar), fevkalade abrazif aşınma mukavemetine ve kesme sırasında iyi bir kimyasal kararlılığa sahiptir. Tüm bu özelliklerin kombinasyonu CBN 'i en iyi takım malzemesi yapmaktadır. Buna karşın fiyatı diğer takım malzemelerden daha pahalıdır.

CBN, çok küçük kübik bor nitrit kristalleri, seramik veya metal bağlayıcı ile, yüksek basınç ve sıcaklıkta bir araya bağlanarak imal edilmektedir. Parçacıkların rasgele

yönlenmesi ile, sentetik elmasın yapısına benzeyen, çok yoğun bir kristalin yapı elde edilir. Malzemenin kesme özellikleri, yapıda CBN bileşeni, kristal parçacıkların büyüklüğü ve bağlayıcı malzeme tipine bağlı olarak elde edilir. Genelde, seramik bir bağlayıcı kullanılan alçak içerikli (%65) CBN ve bağlayıcı olarak karbür (metal) kullanılan yüksek içerikli (%90) CBN çeşitleri vardır. Seramik bağlı CBN çok iyi aşınma mukavemeti ve kimyasal stabiliteye sahip olmasına karşın, tokluğu daha düşüktür. Tez deneylerinde bağlayıcısı karbür yüksek içerikli CBN takım malzemesi kullanılmıştır.

■ Sert metaller (karbürler); birbirine bağlayıcı malzeme ile bağlanan karbür parçacıklarıdır. Bu malzemeler toz şeklinde olan karbürlerin bağlayıcı malzeme ile birlikte sinterleme (yüksek sıcaklık ve basınç altında) yolu ile imal edilmektedir. Karbür olarak tungsten (WC), titanyum (TiC), tantal (TaC) ve niobyum (NbC), bağlayıcı malzemesi olarak genelde cobalt (Co) kullanılmaktadır. İlk defa 1930'larda dökme demirin işlenmesi ile ortaya atılan sert metaller ile ilgili, geçen yaklaşık 65 yıl içerisinde kesme kabiliyetleri bakımından büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde bu malzemeler, kaplanmamış sert metaller ve kaplamalı sert metaller gibi iki ayrı takım malzeme gruplarını oluşturmaktadır. Ayrıca karbürler seramiklerle birlikte Sermet adı ile ayrı bir takım malzeme grubu meydana getirmekte ve CBN malzemeleri için bağlayıcı metal bazı için kullanılmaktadır.

Genelde sert metallerin kesme özelliği, karbür tipine ve tane büyüklüğüne ve bağlayıcı malzemenin tipi ve oranına bağlıdır. Burada önemli bir rol oynayan karbür tanelerin büyüklüğüdür. Küçük taneler malzemeye daha yüksek sertlik, daha büyük taneler ise daha yüksek tokluk özelliğini katarlar. Günümüzde sert metaller belirli bir karbür tipi ve bağlayıcı tipine göre değil, kesme amacına yönelik çeşitli karbür karışımları ve çeşitli tane büyüklüğüne göre yapılır. Bu nedenle kaplanmamış sert malzemelerin seçimi karbür, bağlayıcı malzeme çeşidine göre değil de ISO sınıflandırma sistemine göre yapılır. Bu sınıflandırmada karbür takımları: demir esaslı uzun talaşlı malzemelere yönelik P (mavi), kısa talaşlı malzemelere yönelik K (kırmızı) ve kesme koşulları daha ağır olan yüksek alaşımlı paslanmaz, ısıya dayanıklı çeliklere yönelik M (sarı) grubu olmak üzere üç gruba ayrılır. Her grup, 01 ile 50'ye kadar sayılarla ifade edilmiş alt gruplara ayrılmıştır. Küçük sayılara yani 01'e gidilince takım malzemesini sertliği (aşınma mukavemeti) artmakta, ancak tokluğu azalmakta yani malzeme daha kırılgan olmaktadır. Tezde yapılan deneyler için P10 takım malzemesi seçilmiştir.

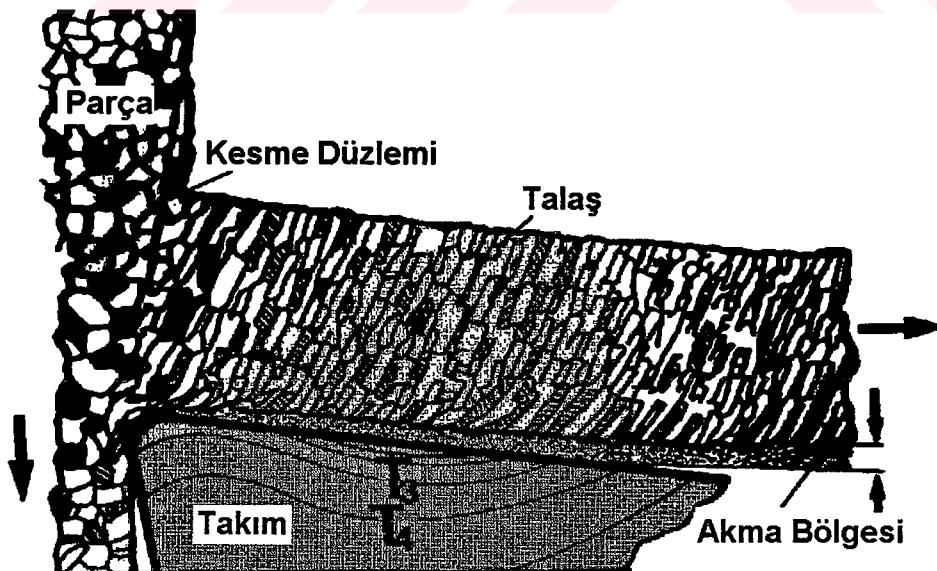
■ TiAlCN, TiCN sert metal takım malzemeleri. Sert metal bir takım malzemesi, çok ince (birkaç mikron) bir karbür tabakası ile kaplandığında kesme özellikleri fevkalade iyileşmektedir. Kaplanmış sert metal malzemeleri ayrı bir takım malzeme sınıfı oluşturmakta ve CBN'den daha ucuz olmalarından dolayı, günümüzde tornalamada işlemlerinin yaklaşık %75'inde ve frezeleme işlemlerinin %40'ından daha fazlasında bu takım malzemeleri kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi olarak TiC-titanyum karbürü, TiN-titanyum nitrürü, Al₂O₃-alüminyum oksidi (seramik), TiCN-titanyum karbür nitrürü. Tezde kullanılan kaplamalar, titanyum karbür nitrürüne dayanmaktadır. Şöyleki birisi yalnızca TiCN-titanyum karbür nitrürü, diğeri alüminyum katkılı TiAlCN-titanyum alüminyum karbür nitrürüdür. Titanyum karbürü ve alüminyum oksidi, yüksek aşınma dayanımına sahip çok sert, kimyasal bakımından inert (etkisiz), ana malzemeye bağlanma kabiliyetleri iyi ve tokluğu diğerlerine göre daha iyi olan bir malzemedir.

Kaplamalarla ilgili önemli bir husus, çok tabakalı kaplamalardır. Çok tabakalı kaplamaların esasını oluşturan düşünce şu şekilde açıklanabilir: Çeşitli kaplama malzemelerin bazılarının belirli özellikleri daha iyi, diğerlerinin başka özellikleri daha iyidir. Burada amaç çeşitli özelliklere sahip kaplamaların kombinasyonu ile, en iyi özelliklere sahip takım malzemesi elde etmektir. Örneğin titanyum karbon nitrürü (TiCN), çok iyi aşınma direncine ve ana malzemeye bağlanma özelliklerine sahiptir. Dolayısıyla, ısı iletkenliği ve sürtünme katsayısı düşük olan kaplama malzemeleri ile kombine edilebilir. Isı iletkenlik katsayısının düşük olması, daha az ısının, ana malzemeye daha az iletilmesi demektir. Bu bakımından bu çeşit kaplamalar bir ısı engel (bariyer) oluşturmaktadır. Günümüzde çeşitli özellikler ilave etmek için iki, üç ve daha çok tabakalı kaplamalar yapılmaktadır. Ancak bu kaplamaları toplam kalınlıkları 2..12 mikronu geçmemelidir. Aksi durumda kırılma gibi problemler ortaya çıkar. Kaplama için genelde P05...P40'a, M10...M25'e ve Ko1...K25' kadar sert metaller tercih edilmektedir. 1989 yılında freze takımlarına uygulanan TiC, titanyum, karbür ve nitrür olmak üzere üç tabaka, TiAlCN ise; titanyum, alüminyum, karbür ve nitrür olmak üzere dört tabakadan meydana gelmektedir.

7.3. Hızlı Talaş Kaldırmada Talaş Kaldırma ve Aşınma Teorisi

Yapılan deneyler ve bu deney sonuçlarının incelemesine dayanarak hızlı talaş kaldırmada talaş kaldırma ve aşınma ile ilgili şu teori öne sürülebilir.

Bu tespiti göre, hızlı talaş kaldırmada kullanılacak bir takım, yüksek sıcak sertliğine ve termik şoka dayanıklı olması gerekir. Bu özelliklere günümüzde yalnızca elmas ve CBN malzemeleri sahiptirler. Ancak bunlar pahalı ve üstelik elmas, demir esaslı malzemelerin işlenmesi için pek elverişli değildir. Bununla beraber malzeme özellikleri ile ilgili bu tespit tek yönlüdür. Konunun daha kapsamlı olarak ele alınması için Bölüm 2 'de açıklanan talaş kaldırma olayını ve bu olayı temsil eden Şekil 2.1'de ki modeli de göz önünde tutulması gerekir. Açıklamaların daha kolay olarak takip edilmesi için bu şekil, Şekil 7.7 olarak aşağıda bir kez daha gösterilmiştir.



Şekil 7.7 Talaşın oluşması [7]

■ Daha önce belirtildiği gibi talaş kaldırmada esasen iki olay meydana gelmektedir: Ana kesme bölgesinde meydana gelen birinci olay; bir tabakanın talaş şeklinde ana malzemeden ayrılmasıdır. İkinci kesme düzleminde oluşan ikincisi ise, malzemeden ayrılan talaşın, takımın yüzeyinden kayarak uzaklaşmasıdır. Bu bölgede takımın kesme kabiliyeti bakımından çok önemli olan şu olaylar meydana gelmektedir:

- Takımın, gerek parça , gerekse talaş ile sürekli oluşan temiz yüzeylerle temasta bulunması.
- Temas yüzeylerinde yüksek basınçların oluşması,
- Fevkalade sürtünme meydana gelmesi,
- Takımın kesme ağzında doğru yüksek mekanik ve termik gerilmelerin oluşması,
- Talaş ve işlenmiş yüzeyin alt kısımda, takım malzemesini interaktif bir şekilde etkileyen, kimyasal aktiviteyi hızlandıran olayların meydana gelmesi,
- Yüksek ısı ve sıcaklığın ve ayrıca termal şokların meydana gelmesi,
- Plastik şekil- değiştirme halinde bulunan talaşın sert olan takım üzerinde kaymasında, yüzeyler arası kayma gerilmesi parçanın τ_{ak} akma sınırına eriştiğinde ($\tau_{maks}=\tau_{ak}$), talaş takım üzerine yapışır. Bu durumda talaşın kendi bünyesinde bir kayma düzlemi oluşur ve kayma bu düzlemde meydana gelir. Buna yapışma kayması denilir [18, 66, 67].

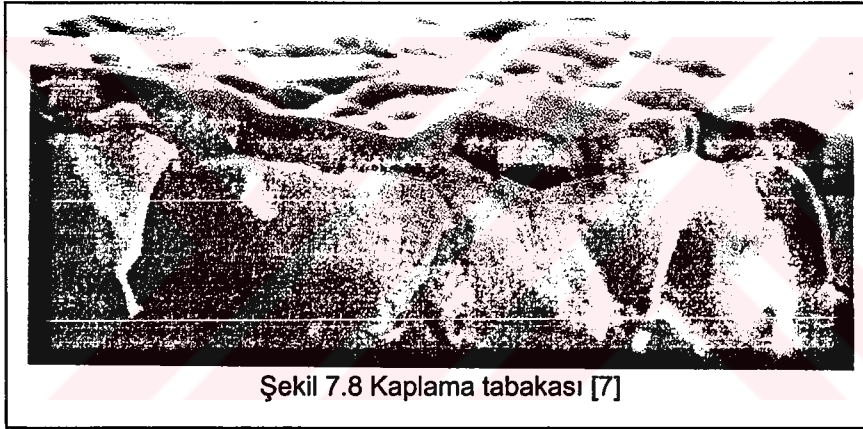
Eğer takım ile temas ettiği yüzeyler arası (Şekil 7.7, Şekil 7.8) bu olayların çoğunu veya hepsini azaltan veya bertaraf eden, tıpkı yağlamada olduğu gibi, bir ara malzeme konulursa o zaman çok yüksek hızlarda ve çok sert malzemelerde talaş kaldırma mümkün olabilir. Ancak bu bölgede meydana gelen yüksek basınç ve gerilmelerden dolayı bu ara malzemelerin mukavim olmaları gerekir. İşte takımlara uygulanan kaplamalar bu ara malzeme rolünü yapmaktadır.

Kaplamalar sürtünmeyi azaltan bir yağlayıcı madde, ısıyı ve termal şokları karşı bir engel (baraj) oluşturan ve kimyasal aktiviteyi ve talaşın yapışması önleyen bir ara malzeme gibi davranmaktadır. Günümüzde tüm bu olayları azaltan tek bir malzeme olmadığına göre kaplama malzemelerin özelliklerini dikkate alarak çok tabakalı kaplamalar yapılmaktadır. Örneğin çok iyi aşınma dayanımına, tokluğa sahip TiCN tabakasına alüminyum bir tabakanın ilave edilmesi, parça ile takımın ana malzemesi arasında baraj etkinliğini artırmaktadır. Seramik malzeme olan alüminyum oksidi Al_2O_3 , sertliğin yanısıra, yüksek ısı dayanımına ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Genelde alüminyumun şu özelliklere sahiptir: Düşük ısı iletkenliği ve

oksidasyona karşı yüksek dayanım, kesme ağzındaki termal gerilmeleri azaltmakta, takımı termal şoktan koruyan bir set oluşturmakta ve ısının talaş yolu ile dışarıya atılmasını sağlamaktadır.

Tüm bu hususlar deneylerde elde edilen sonuçlar tarafından doğrulanmaktadır. Buna göre en iyi davranış doğal kızıl sertliği çok yüksek olan CBN göstermiştir. Kaplanmış takımlardan ise, bünyesinde alüminyum ve TiC bulunan dört tabakalı Ti AlCN takımı en iyi davranış göstermiştir. Kaplanmamış sert metal takımı ise en kötü davranış göstermiştir.

Bununla beraber deneylerden elde edilen bir başka önemli sonuç; talaş kaldırma prosesinin esasen takımın ana malzemesine bağlıdır, kaplama malzemeleri ise parça ile takımın arasında yukarıdaki olayları gideren, önleyen veya azaltan yalnızca bir ara malzemesidir. Talaş kaldırma prosesinde, yani talaşın ana malzemedan ayrılmasında etkisi yoktur veya çok azdır.



■ Yüksek kesme hızlarında talaş kaldırmayı olanaklı kılan bir başka olay şu şekilde açıklanabilir: Genelde kesme hızın büyümesi ile sıcaklık artmaktadır. Ancak Salomon'un 1931 yılında yaptığı bir çalışmada [68], kesme hızının konvansiyonel kesme hızına göre 5...10 misli daha büyük olduğu durumda, tüm malzemeler için kesme hızının artması ile sıcaklığının azaldığını öne sürmüştü ve talaş kaldırmada konvansiyonel kesme hızlarından 5...10 kat daha büyük kesme hızları kullanılabilir neticesine varmıştır. Bu teori şimdiye kadar başka araştırmacı tarafından kanıtlanmamasına karşın, günümüzde yüksek hızlarda talaş kaldırma gerçekten uygulanmakta ve gittikçe yaygınlaşmaktadır. Burada sıcaklığın beklendiği gibi artmadığı görülmektedir. Ancak bizim kanaatimize göre bunun şu nedeni vardır:

- Günümüzde yüksek talaş kaldırma, yalnızca yüksek kesme hızı ile değil, yüksek ilerleme hızı ile beraber gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla burada:

☞ Talaş kaldırma çok daha kısa bir zamanda yapıldığı için, kesme ağzının parça ile temas zamanı önemli ölçüde azalmaktadır.

☞ Frezelemede takım bir çok kesme ağzından (dişten) oluştuğu düşünülürse, her diş ile parça arasında temas frekansı yüksek fakat kavrama uzunluğu kısa olmaktadır.

☞ Yüksek talaş kaldırmada genelde düşük talaş kalınlıkları (0,5..1,5 mm) kullanılmaktadır, bu da sıcaklığı önemli ölçüde azaltan bir etkidir.

☞ Son olarak parça ile takım arasında, kaplamalardan meydana gelen bir ısı engeli (kalkanı) oluşturulmaktadır. Bu engel (kalkan) oluşan ısıнын çoğunluğunun, talaşla beraber dışarıya akmasını sağlamaktadır.

7.4. Sonuç

Yukarıdaki açıklamalar hızlı talaş kaldırma için teorik bir temel oluşurmaktadır. Tez çalışmalarında elde edilen deneysel çalışmalar bu açıklamaları doğrulayan niteliktedir. Bununla beraber deneylerde elde edilen sonuçlara göre takımlar hakkında, fiyat unsurunu da dikkate alarak aşağıdaki pratik öneriler yapılabilir:

1. Sertlikleri 40...45 HRC kadar olan parça malzemeleri için, yüksek talaş kaldırma hızlarında TiAlCN kaplamalı sert metaller rahatlıkla kullanılabilir.
2. Daha sert parçalar için CBN takımları önerilir.
3. TiC kaplı karbürler, sertlikleri 20..25 HRC'ye kadar olan parçalarda kullanılabilir.
4. Kaplamasız sert karbürlerin yüksek talaş kaldırma hızlarında kullanılması önerilmez.

8. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

- Deney sonuçlarının gerek teorik, gerekse uygulama bakımından denklemlerle temsil edilmesi maksada daha uygun olacağı kanaatindeyiz. Her hangi bir olayın denklemlerle temsil edilmesinin bir çok avantajları vardır.

Denklemleri bulmak için, burada da tüm bilim dallarında olduğu gibi iki yol vardır. Birincisi talaş kaldırma hakkında bilgilere dayanarak, takım aşınması ile ilgili genel bir teori oluşturmak ve olayı etkileyen faktörleri dikkate alarak bu teoriye göre, faktörler arasında teorinin denklemini temsil eden bir genel bağıntı bulmaktır. İkinci bir yöntem, deney sonuçlarına göre, regresyon veya enterpolasyon yöntemlerini kullanılarak denklemler elde etmektir.

1. Birinci yöntem çok zordur. Zira şimdiye kadar takım aşınmasının genel teorisi oluşturulamamıştır. Bu her şeyden önce olayı etkileyen faktörlerin çokluğuna ve aşınmanın farklı şekilde geliştiğine bağlıdır. Gerçekten burada olay, “kesme hızı, ilerleme hızı, paso kalınlığı, kesme sıvısı, parça malzemesi, takım malzemesi, tezgah tipi ve konstrüksiyonu gibi” bir çok faktöre bağlıdır. Yalnızca parça malzemesi ve takım malzemesi ele alınırsa, yüzlerce parça malzemesi ve onlarca takım malzemeleri vardır. Bununla beraber faktörleri sınırlandırarak (belirli takım-parça malzemesi, belirli kesme koşulları) ve belirli bir faktörü esas alarak bazı denklemler mevcuttur. Örneğin aşınmanın meydana gelmesinde sıcaklığın önemli bir faktör olduğunu dikkate alarak Kitagawa ve diğerleri [69,79], aşınma için:

$$\frac{dW}{\sigma \cdot dL} = C \cdot \exp\left(\frac{-\lambda}{\theta}\right) \quad (8.1)$$

denklemini vermektedirler. Burada: W- aşınmadan dolayı kaldırılan özgül malzeme hacmi (m^3/m^2), L-kayma uzunluğu (m), σ -temas bölgesindeki normal gerilme (MPa), θ -temas bölgesindeki sıcaklık (K), C, λ -takım-parça malzemelerine bağlı sabitelerdir. Bu bağıntı Barlier ve diğerleri [71] tarafından

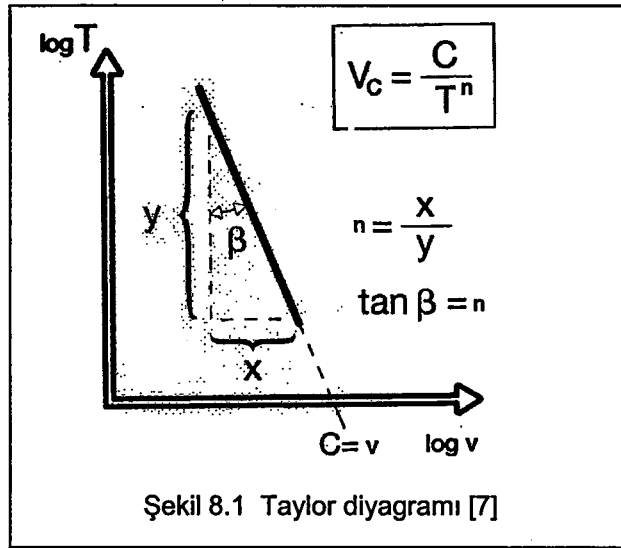
$$\frac{\partial VB}{\partial t} = \frac{C.v_c.\sigma_F}{\tan(\alpha)} \cdot \exp\left(\frac{-\lambda}{\theta_F}\right) \quad (8.2)$$

şekline dönüştürmüştür. Burada: VB-aşınma bölgesin genişliği (m), v_c -kesme hızı (m/s), σ_F -aşınma bölgesindeki normal gerilme (Mpa), θ_F -aşınma bölgesindeki takım-parça temasındaki ortalama sıcaklık (K), α - serbest açısıdır ($^{\circ}$). Bu denklemlerin özelliği ilkin analitik olarak ortaya konulmuş ve sonra deneylerle ispat edilmeye çalışılmıştır. Bununla beraber bu deneyler göstermiştir ki, bu bağıntılar çok dar koşullar için geçerli olabilir. Bununla beraber tayin edilmesi çok zor faktör ve sabitelere bağlı oldukları için uygulamaları çok zordur.

2. İkinci yöntemin temsilcisi daha önce belirtilen Taylor denklemdir. Taylor'un denklemi esasen direkt olarak aşınmayı vermiyor. Aşınma yerine, onun tayin ettiği ömür faktörünü kullanmakta ve

$$v.T^n=C \quad (8.3)$$

şeklinde ömür-hız arasında denklemi vermektedir. Hatırlatmak üzere ömür, belirli bir aşınma değerine karşılık gelen çalışma zamanıdır. Taylor, belirli bir parça malzemesi üzerinde, belirli bir takım ile çeşitli hızlarda, takım körleninceye kadar talaş kaldırmış ve sonra ömür (T) dediği körlenme zamanını, kesme hızına bağlı grafik olarak temsil etmiştir. Elde edilen noktalar arasında çeşitli eğriler çizerek, bu noktalara en uygun eğrinin denklemini, yukarıda gösterildiği gibi ifade etmiştir. Taylor denklemini kullanmak için takım-parça malzemesine bağlı olan C ve n sabitlerin tayin edilmesi gerekir. Bu sabitler her takım-parça malzemesi için yeniden deneyler yaparak elde edilir. Bölüm 2.3.2'de gösterildiği gibi, Taylor bağıntısı, logaritm koordinat sisteminde bir doğruyu temsil eder. Buna göre C değeri, doğrunun x yani v eksenini kestiği noktadır (Şekil 8.1)



3. Burada deney sonuçlarını değerlendirmek için ara bir yol izlenecektir. İlk olarak aşınma için basit bir model oluşturulacak ve sonra bu modellere göre, regresyon analizine dayanarak denklemler elde edilecektir. Bununla beraber, değerlendirme Taylor denklemi şeklinde de yapılacaktır.

Regresyon analizi çok kuvvetli bir istatistik yöntemidir. Bunun amacı iki veya daha çok değişkenler arasında matematik bir bağıntı kurmaktır. Matematikte olduğu gibi regresyon analizinde de, değeri tayin edilen değişkene bağımlı, değer verilen veya değeri bilinen değişkene bağımsız değişken denilir. Buna göre bir bağımsız değişkene sahip olan regresyon analizine doğrusal regresyon, bir çok değişkene sahip olana çok parametrelili regresyon ve ikinci, üçüncü vb. gibi polinomları temsil edene lineer olmayan regresyon denilir. En basit ve aynı zamanda regresyon analizinin temelini oluşturan lineer regresyon ele alınırsa ve bunun denklemi $Y=a_0+a_1X$ şeklinde temsil edilirse, regresyon analizin amacı, deney veya gözlem değerlerden hareket ederek doğrunun a_0 ve a_1 katsayılarını tayin etmektir. Bilindiği gibi a_0 , doğrunun Y eksenine ile kesişme noktasını ve a_1 doğrunun eğimini göstermektedir.

a_0 ve a_1 katsayılarını tayin etmek için çeşitli yöntemlerin olmasına karşın bunlardan en etkili En Küçük Kareler Yöntemidir. Bu yöntemle göre öncelikle deney değerleri arasından geçen bir doğru oluşturulur. Bu doğrunun denklemi ile elde edilen y değerlerine tahmini y değerleri denilir. a_0 ve a_1 katsayıları, tahmini y ile gözlenen noktaların y değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamı minimum yapılarak tayin edilir. Esasen tahmini y ile gözlenen noktaların y değerleri arasındaki farklar,

denklem ile gözlenen değerler arasındaki hatalardır. Dolayısıyla En Küçük Kareler Yöntemi bu hataların karelerini minimum değere indirir. Buna göre [72]

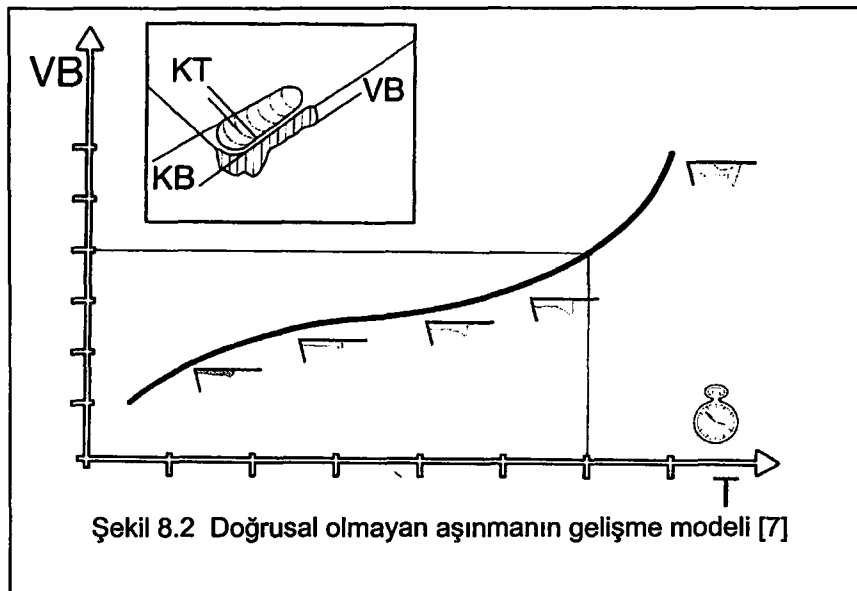
$$a_0 = \text{kesisme} = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (8.4)$$

$$a_1 = \text{egim} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (8.5)$$

bağıntıları ile tayin edilir.

8.2 AŞINMA-ÇALIŞMA ZAMANI DENKLEMELERİ

Bölüm 6 ve Bölüm 7’de gösterildiği gibi aşınmanın hıza göre gelişmesi doğrusal veya doğrusal olmayabilir. Bu son durumda başlangıç büyümesinden sonra, sabit bir büyüme, ondan sonra çok çabuk bir büyüme meydana gelir (Şekil 8.2). Burada regresyon analizini kullanılarak aşınma gelişmesinin çalışma (talaş kaldırma) zamanı t 'ye bağlı olarak denklemleri elde edilmiştir. Bir çok regresyon denemelerinden sonra doğrusal olmayan aşınma gelişmeleri için en uygun denklem beşinci derecede polinom olduğu görülmüştür. Denklemlerin yanı sıra, bunların deney noktalarına göre uygunluğunu gösteren uygunluk katsayısı R^2 değeri de verilmiştir. R^2 değeri 1'e ne kadar daha yakın ise, uygunluk o kadar daha iyi olduğunu gösterir. Aşağıda CBN takımının ve TiAlCN takımı için bu denklemler verilmiştir.



1. CBN takımı:

a. Parça malzemesi 42CrMo4,

- $v = 125$ m/dak;

$$VBm = 2E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 9E-05.t^3 - 0,0018.t^2 + 0,021.t - 0,0004, R^2=0,9984$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = 1E-08.t^5 - 1E-06.t^4 + 7E-05.t^3 - 0,0018.t^2 + 0,0241.t - 0,0021, R^2=0,9984$$

- $v = 325$ m/dak;

$$VBm = 5E-09.t^5 - 6E-07.t^4 + 4E-05.t^3 - 0,0013.t^2 + 0,0243.t - 0,0015, R^2=0,9984$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,0139.t - 0,027, R^2=0,911$

b. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- $v = 125$ m/dak;

$$VBm = 7E-09.t^5 - 8E-07.t^4 + 4E-05.t^3 - 0,0012.t^2 + 0,0274.t - 0,0034, R^2=0,9984$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = -7E-09.t^5 + 8E-07.t^4 + 2E-05.t^3 - 0,0003.t^2 + 0,0284.t - 0,0034, R^2=0,9982$$

- $v = 325$ m/dak;

$$VBm = 1E-09.t^5 - 2E-07.t^4 + 2E-05.t^3 - 0,0012.t^2 + 0,0376.t - 0,00003, R^2=0,9984$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,0257.t - 0,0794, R^2=0,9543$

c. Parça malzemesi 16MnCr5

- $v = 125$ m/dak;

$$VBm = 1E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 7E-05.t^3 - 0,0017.t^2 + 0,0219.t - 0,00007, R^2=0,9982$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = 1E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 8E-05.t^3 - 0,002.t^2 + 0,027.t - 0,0024, R^2=0,9984$$

- $v = 325$ m/dak

$$VBm = 6E-09.t^5 - 8E-07.t^4 + 5E-05.t^3 - 0,0015.t^2 + 0,0271.t - 0,0017, R^2=0,9983$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,0149.t - 0,0423, R^2=0,9052$

2. TiAlCN takım malzemesi

a. Parça malzemesi 42CrMo4

- $v = 125$ m/dak

$$VBm = 2E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 0,0001.t^3 - 0,0027.t^2 + 0,0327.t - 0,006, R^2=0,9993$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = 3E-08.t^5 - 3E-06.t^4 + 0,0001.t^3 - 0,0032.t^2 + 0,0384.t - 0,000005, R^2=0,9997$$

- $v = 325$ m/dak;

$$VBm = 3E-08.t^5 - 4E-06.t^4 + 0,0002.t^3 - 0,0039.t^2 + 0,0468.t - 0,0028, R^2=0,9983$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,0227.t - 0,0493, R^2=0,9209$

b. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- $v = 125$ m/dak;

$$VBm = 4E-08.t^5 - 5E-06.t^4 + 0,0002.t^3 - 0,0053.t^2 + 0,0629.t - 0,0027, R^2=0,9991$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = 4E-08.t^5 - 5E-06.t^4 + 0,0003.t^3 - 0,0056.t^2 + 0,0712.t - 0,0028, R^2=0,9988$$

- $v = 325$ m/dak;

$$VBm = 6E-08.t^5 - 7E-06.t^4 + 0,0003.t^3 - 0,0069.t^2 + 0,086.t - 0,0021, R^2=0,9983$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,0477.t - 0,1186, R^2=0,9632$

c. Parça malzemesi 16MnCr5

- $v = 125$ m/dak;

$$VBm = 2E-08.t^5 - 3E-06.t^4 + 0,0001.t^3 - 0,0032.t^2 + 0,0389.t - 0,0007, R^2=0,9993$$

- $v = 225$ m/dak;

$$VBm = 3E-08.t^5 - 4E-06.t^4 + 0,0002.t^3 - 0,0038.t^2 + 0,0457.t - 0,000005, R^2=0,997$$

- $v = 325$ m/dak;

$$VBm = 4E-08.t^5 - 4E-06.t^4 + 0,0002.t^3 - 0,0047.t^2 + 0,058.t - 0,0033, R^2=0,9983$$

- $v = 400$ m/dak; $VBm = 0,027.t - 0,0587, R^2=0,9209$

Ayrıca, Şekil 8.3'de CBN- ve Şekil 8.4'de TiAlCN- malzeme çiftleri için grafiklerle birlikte aşınma denklemleri verilmiştir. Diğer malzemelerin grafikli denklemleri Ek A 'da verilmiştir.

Denklemlerin incelemesinden şu sonuçlar çıkarmak mümkündür.

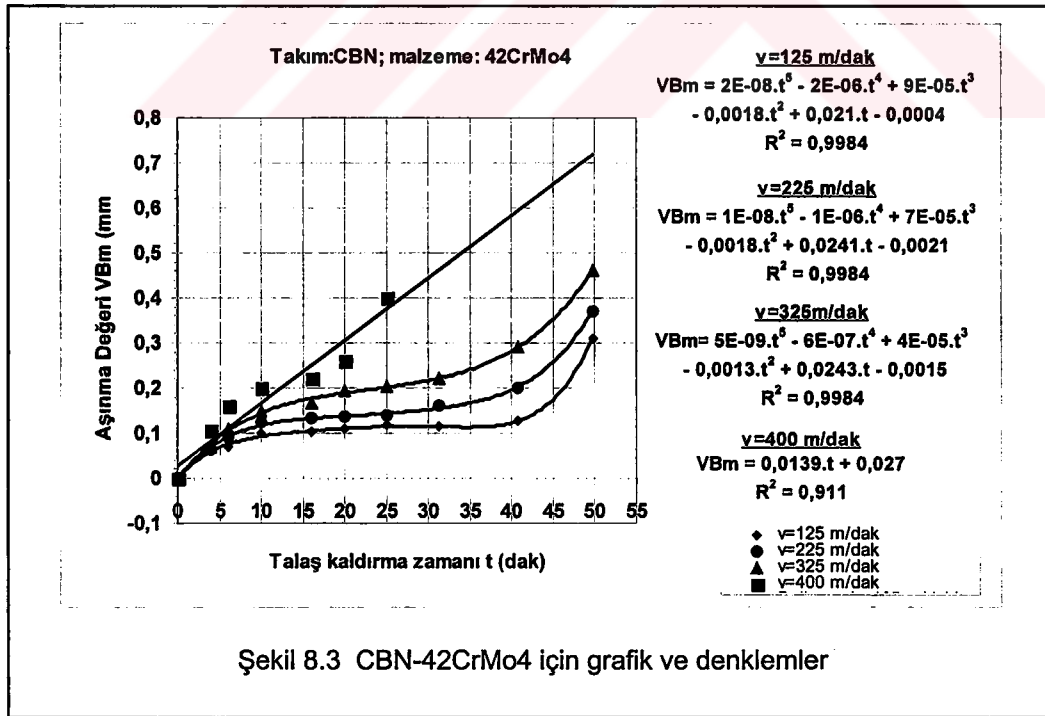
☞ Doğrusal olmayan aşınma gelişmesine tüm haller için en iyi uyan ve genel şekli

$$VB_m = a.t^5 + b.t^4 + c.t^3 + d.t^2 + e.t + f \quad (8.6)$$

olan beşinci derecede bir denklemdir. Tüm haller için bu denklemin uygunluk derecesi 0,99 yani %99'ün üstündedir.

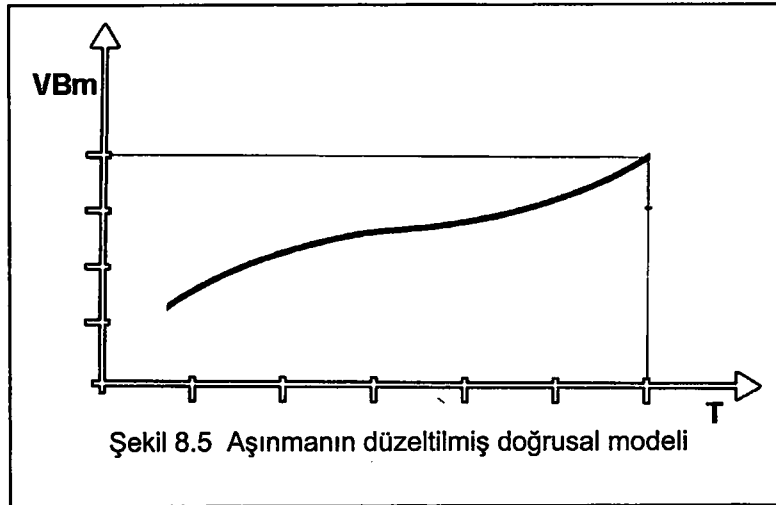
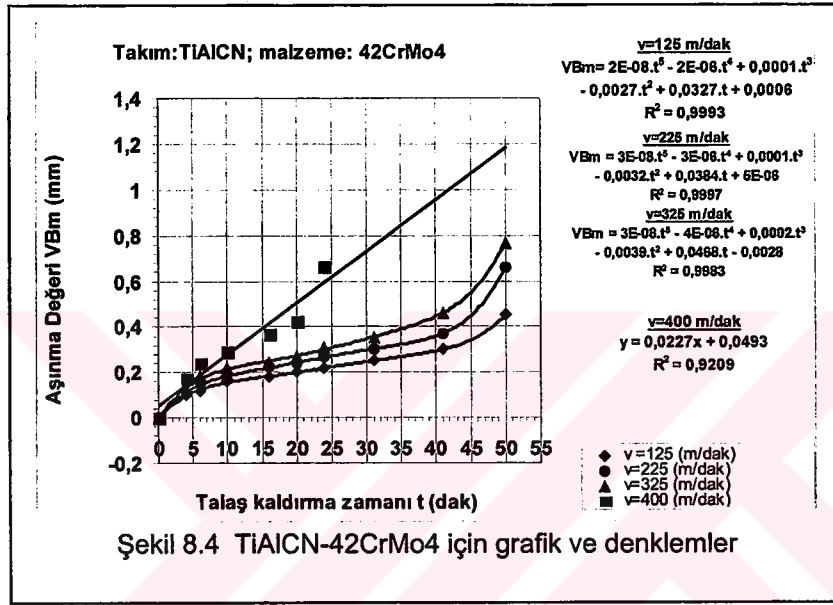
☞ $v=400$ m/dak'a için tüm denemelere karşı ancak $VB_m = a.t + b$ şeklinde olan doğrusal bir denklem elde edilmiştir. Bunun uygunluk derecesi genelde 0,90...0,96 yani %90...0,96 arasındadır.

☞ Doğrusal olmayan aşınma denklemleri incelendiğinde, tüm haller için a, b, c, d katsayılarının çok küçük değerlere sahip oldukları görülür. Ayrıca beşinci derecede bir denklemin pratikte kullanılması çok zor olduğu hususu da dikkate alınırsa, bu aşınma şeklini doğrusal bir şekilde temsil edilmesi maksada daha uygun olacağı sonuca varılmıştır.



8.3 Aşınma Gelişmesinin Doğrusal Denklemleri

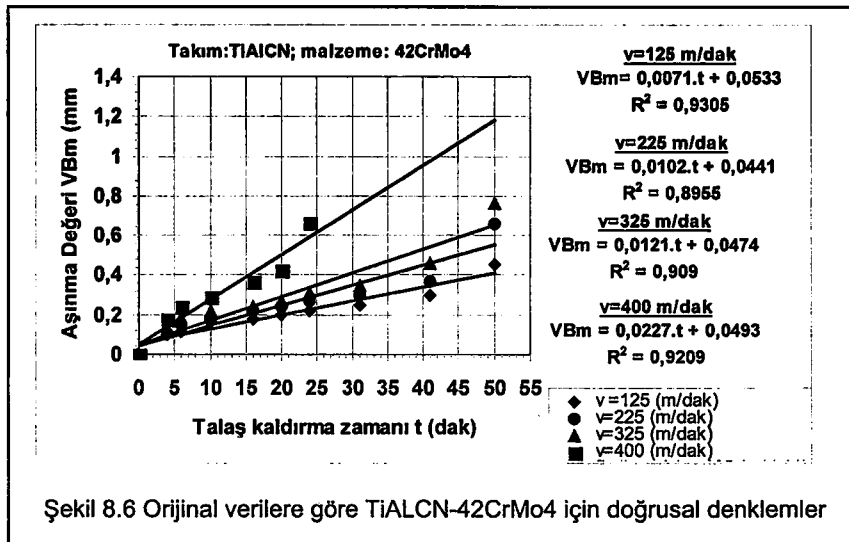
Aşınma denklemlerinin doğrusal şeklinde ifade edilmesi için iki yol vardır. Birincisi deney noktalarının tümü muhafaza edilerek doğrusal regresyon analizini uygulamak. İkincisi aşınmanın başlangıç ve çabuk aşınma başlayan son kısmını ihmal ederek (Şekil 8.2), yani Şekil 8.5'de gösterildiği gibi yalnızca normal aşınma kısmı dikkate alarak regresyon analizini uygulamak. Birinci yöntem orijinal, ikincisine ise düzeltilmiş denilecektir.

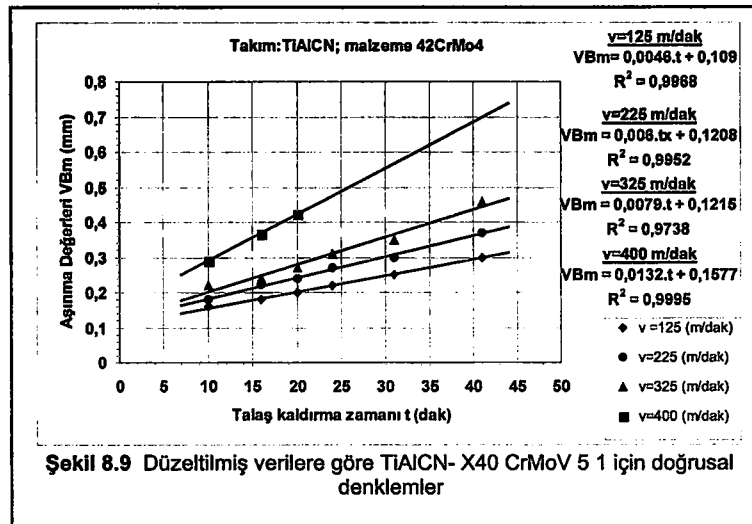
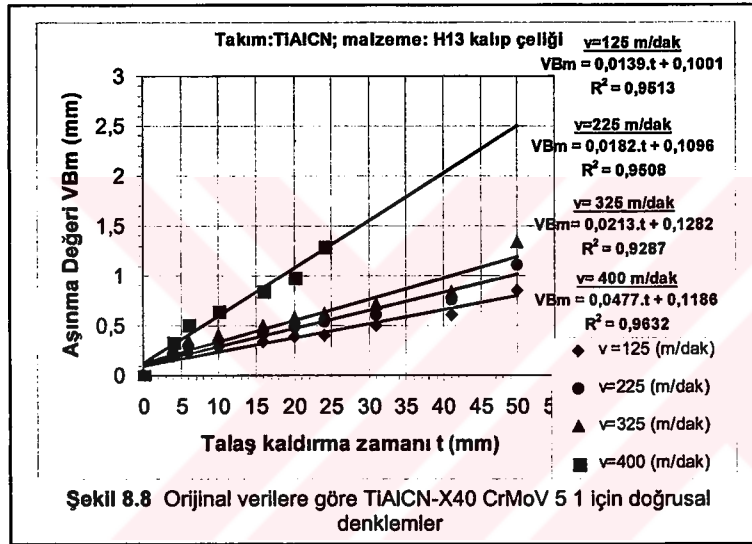
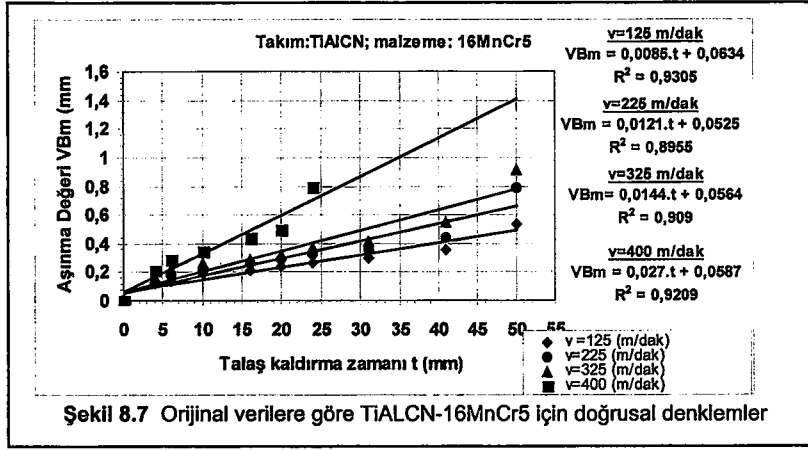


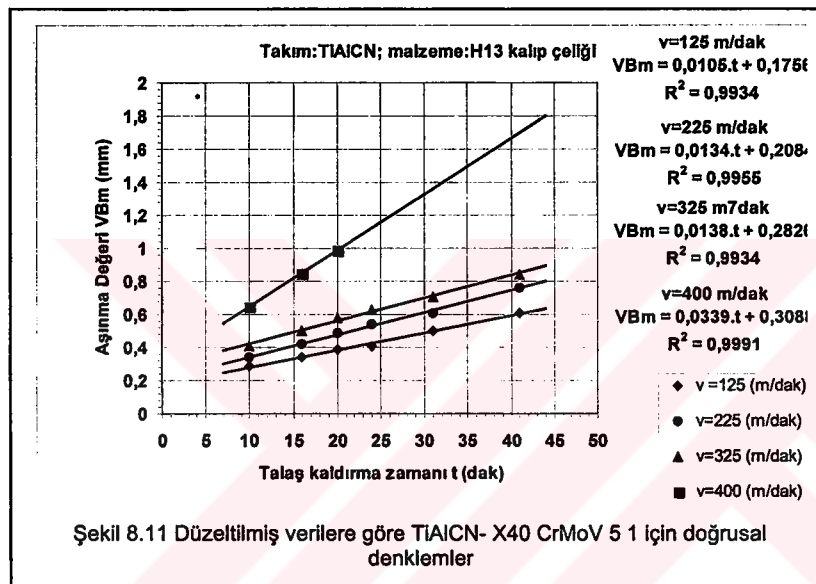
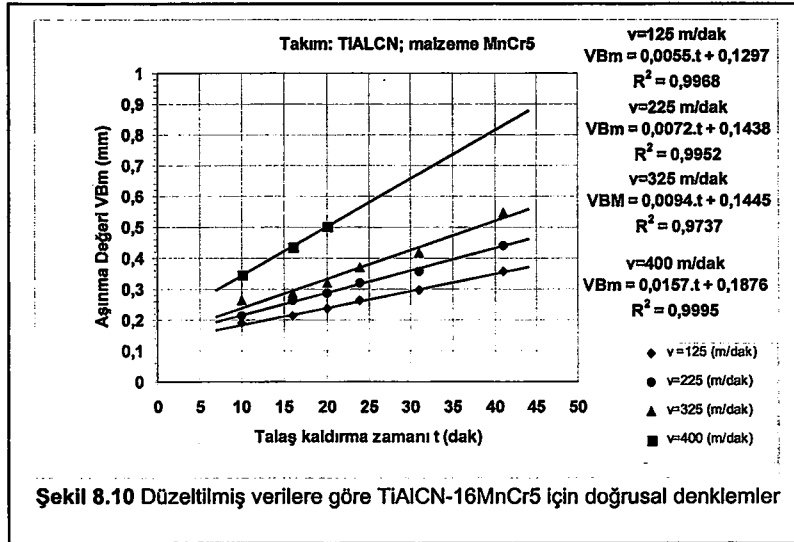
Her iki yöntem tüm deney verilerine uygulanmıştır. Ancak burada yalnızca TiAlCN takımı ve parça malzemesi 42CrMo4, X40 CrMoV 5 1 takım çeliği ve 16MnCr5 için

sonuçlar verilmiştir. Buna göre Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'de orijinal verilere ve Şekil 8.9, Şekil 8.10 ve Şekil 8.11'de düzeltilmiş yöntemle göre denklemlerle birlikte diyagramlar verilmiştir. Düzeltilmiş denilen ikinci yöntemde deney verileri Tablo 8.1'de gösterildiği gibi yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 8.1 Yeniden düzenlenmiş deney verileri							
Takım: TiAlCN (dörtlü) kaplama							
Malzeme: 42CrMo4							
t (dak)		10	16	20	24	31	41
v = 125 (m/dak)		0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,30
v = 225 (m/dak)		0,18	0,22	0,24	0,27	0,30	0,37
v = 325 (m/dak)		0,22	0,24	0,27	0,31	0,35	0,46
v = 400 (m/dak)		0,29	0,37	0,42			
Malzeme: X40 CrMoV 5 1 takım çeliği							
t (dak)		10	16	20	24	31	41
v = 125 (m/dak)		0,290	0,340	0,390	0,410	0,500	0,610
v = 225 (m/dak)		0,340	0,420	0,490	0,540	0,610	0,760
v = 325 (m/dak)		0,410	0,500	0,580	0,625	0,710	0,840
v = 400 (m/dak)		0,650	0,845	0,990			
Malzeme: 16MnCr5							
t (dak)		10	16	20	24	31	41
v = 125 (m/dak)		0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,36
v = 225 (m/dak)		0,21	0,26	0,29	0,32	0,36	0,44
v = 325 (m/dak)		0,26	0,29	0,32	0,37	0,42	0,55
v = 400 (m/dak)		0,35	0,44	0,50			





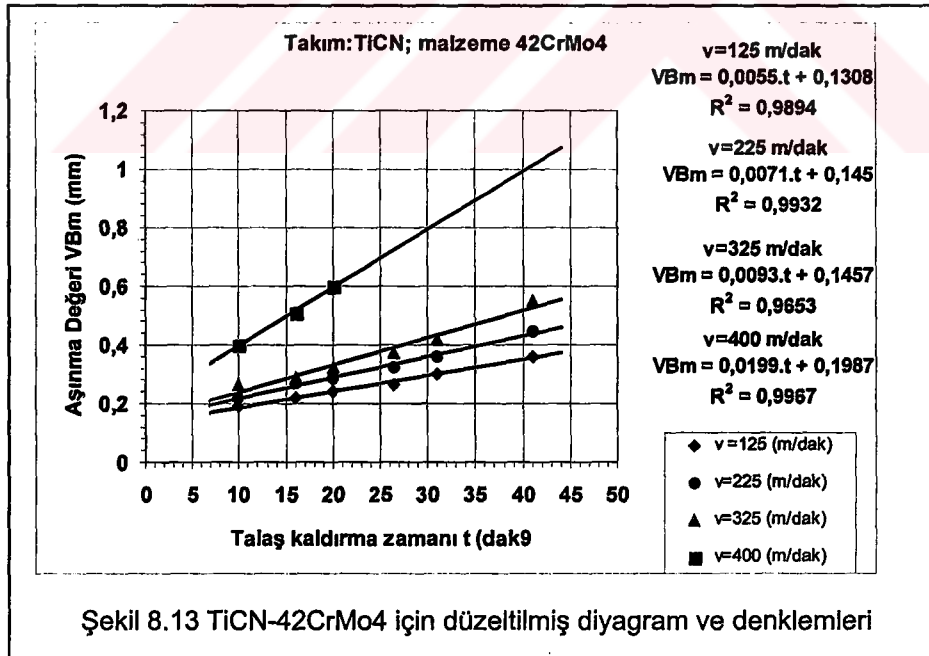
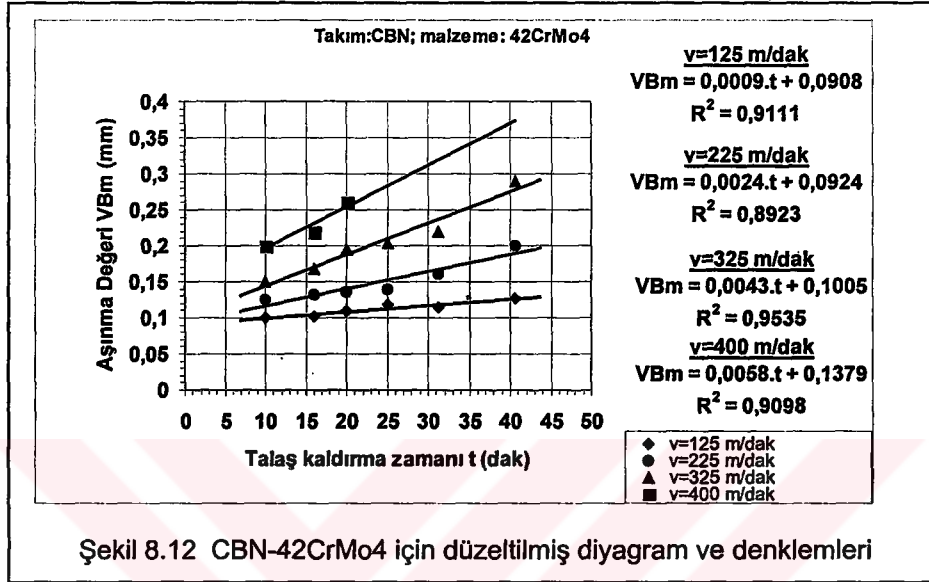


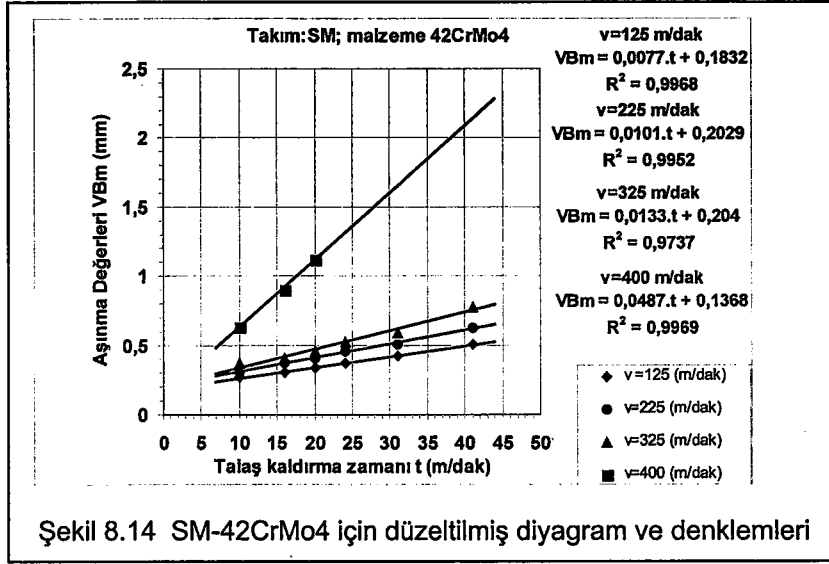
Her iki yöntemin daha iyi bir karşılaştırmasını yapmak için TiAlCN takımı için elde edilen denklemler ve uyumluluk dereceleri Tablo 8.2'de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi düzeltilmiş yöntemde uyumluluk dereceleri çok iyi olmakla beraber (genelde %99'un üstünde) denklem değerleri de daha uygundur.

Tablo 8.2 Orijinal ve düzeltilmiş denklemlerin karşılaştırılması

		V=125 m/dak		v=225 m/dak		v=325 m/dak		v=400 m/dak	
		Denklem	R ²	Denklem	R ²	Denklem	R ²	Denklem	R ²
42CrMo4	Orijinal	$0,0071.t + 0,0533$	0,931	$0,0102.t + 0,0441$	0,896	$0,0121.t + 0,0474$	0,909	$0,0227.t + 0,0493$	0,921
	Düzeltilmiş	$0,0046.t + 0,109$	0,997	$0,006.t + 0,121$	0,995	$0,0079.t + 0,122$	0,974	$0,0132.t + 0,158$	0,999
16MnCr5	Orijinal	$0,0085.t + 0,0634$	0,931	$0,0121.t + 0,0525$	0,895	$0,0144.t + 0,0564$	0,909	$0,027.t + 0,0587$	0,921
	Düzeltilmiş	$0,0055.t + 0,1297$	0,997	$0,0072.t + 0,144$	0,995	$0,0994.t + 0,1445$	0,974	$0,0157.t + 0,1876$	0,999
H13	Orijinal	$0,0139.t + 0,100$	0,951	$0,0182.t + 0,1096$	0,951	$0,0213.t + 0,1282$	0,929	$0,0477.t + 0,1186$	0,963
	Düzeltilmiş	$0,0105.t + 0,1756$	0,993	$0,0134.t + 0,2084$	0,995	$0,0138.t + 0,2826$	0,993	$0,0339.t + 0,309$	0,999

Bu sonuçlara göre deney değerlerinin denklemleri, düzeltilmiş yöntemine göre verilmesi kararlaştırılmıştır. Buna göre Şekil 8.12'de CBN-42CrMo4, Şekil 8.13'de, TiCN-42CrMo4 ve Şekil 8.14'de SM-42CrMo4 için düzeltilmiş diyagramları verilmiştir. Diğer malzemelerin lineer denklemleri ile birlikte grafikleri Ek B'de verilmiştir. TiAlCN için düzeltilmiş diyagramları daha önce verilmiştir (Şekil 8.9, Şekil 8.10, Şekil 8.11).





Bu diyagramlara dayanarak tüm deney verileri için düzeltilmiş yönteme göre doğrusal denklemleri aşağıda verilmiştir.

1. CBN takımı:

a. Parça malzemesi 42CrMo4

- v= 125 m/dak: VBm= 0,009.t + 0,0908,
- v= 225 m/dak: VBm= 0,0024.t + 0,0924,
- v= 325 m/dak: VBm= 0,0043.t + 0,100,
- v= 400 m/dak: VBm= 0,0058.t + 0,1379,

b. Parça malzemesi 16 MnCr5

- v= 125 m/dak: VBm= 0,0015.t + 0,0911,
- v= 225 m/dak: VBm= 0,0026.t + 0,1024,
- v= 325 m/dak: VBm= 0,0048.t + 0,1114,
- v= 400 m/dak: VBm=0,0064.t + 0,1528,

c. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- v= 125 m/dak: VBm= 0,006.t + 0,1499,
- v= 225 m/dak: VBm= 0,0097.t + 0,1622,
- v= 325 m/dak: VBm= 0,0115.t + 0,1868,
- v= 400 m/dak: VBm= 0,0218.t + 0,1532,

2. TiAlCN takım malzemesi

a. Parça malzemesi 42CrMo4

- $v = 125 \text{ m/dak: } VBm = 0,0046.t + 0,109,$
- $v = 225 \text{ m/dak: } VBm = 0,006.t + 0,1208,$
- $v = 325 \text{ m/dak: } VBm = 0,079.t + 0,1215,$
- $v = 400 \text{ m/dak: } VBm = 0,0132.t + 0,1577,$

b. Parça malzemesi 16MnCr5

- $v = 125 \text{ m/dak: } VBm = 0,0055.t + 0,1297,$
- $v = 225 \text{ m/dak: } VBm = 0,0072.t + 0,1438,$
- $v = 325 \text{ m/dak: } VBm = 0,0099.t + 0,1445,$
- $v = 400 \text{ m/dak: } VBm = 0,0157.t + 0,1876,$

c. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- $v = 125 \text{ m/dak: } VBm = 0,0105.t + 0,1756,$
- $v = 225 \text{ m/dak: } VBm = 0,0134.t + 0,2084,$
- $v = 325 \text{ m/dak: } VBm = 0,0138.t + 0,2826,$
- $v = 400 \text{ m/dak: } VBm = 0,0339.t + 0,3088,$

3. TiCN takım malzemesi

a. Parça malzemesi 42CrMo4

- $v = 125 \text{ m/dak: } VBm = 0,0055.t + 0,1308,$
- $v = 225 \text{ m/dak: } VBm = 0,0071.t + 0,145,$
- $v = 325 \text{ m/dak: } VBm = 0,0093.t + 0,1457,$
- $v = 400 \text{ m/dak: } VBm = 0,0199.t + 0,1987,$

b. Parça malzemesi 16MnCr5

- $v = 125 \text{ m/dak: } VBm = 0,0064.t + 0,1504,$
- $v = 225 \text{ m/dak: } VBm = 0,0083.t + 0,1667,$
- $v = 325 \text{ m/dak: } VBm = 0,0107.t + 0,1753,$
- $v = 400 \text{ m/dak: } VBm = 0,0247.t + 0,2074,$

c. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- $v = 125$ m/dak: $VB_m = 0,0125.t + 0,2107,$
- $v = 225$ m/dak: $VB_m = 0,0161.t + 0,2501,$
- $v = 325$ m/dak: $VB_m = 0,0166.t + 0,3391,$
- $v = 400$ m/dak: $VB_m = 0,0407.t + 0,3706,$

4. SM takım malzemesi

a. Parça malzemesi 42CrMo4

- $v = 125$ m/dak: $VB_m = 0,0077.t + 0,1832,$
- $v = 225$ m/dak: $VB_m = 0,0101.t + 0,2029,$
- $v = 325$ m/dak: $VB_m = 0,0133.t + 0,204,$
- $v = 400$ m/dak: $VB_m = 0,0487.t + 0,1368,$

b. Parça malzemesi 16MnCr5

- $v = 125$ m/dak: $VB_m = 0,0088.t + 0,2088,$
- $v = 225$ m/dak: $VB_m = 0,0115.t + 0,2314,$
- $v = 325$ m/dak: $VB_m = 0,0151.t + 0,2326,$
- $v = 400$ m/dak: $VB_m = 0,0591.t + 0,1008,$

c. Parça malzemesi X40 CrMoV 5 1 takım çeliği

- $v = 125$ m/dak: $VB_m = 0,0176.t + 0,295,$
- $v = 225$ m/dak: $VB_m = 0,0226.t + 0,3502,$
- $v = 325$ m/dak: $VB_m = 0,0233.t + 0,4748,$

■ Bu bağıntıların incelemesinden şu sonuçlar elde edilebilir.

☞ Bazı hızlarda değerler birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle burada verilen hızlar için denklemler, belirli bir hız aralığı için ortalama değer olarak kabul edilebilir. Örneğin:

$v = 125$ m/dak için verilen denklem $v = 75 \dots 175$ m/dak,

$v = 225$ m/dak için verilen denklem $v = 175 \dots 275$ m/dak,

$v = 325$ m/dak için verilen denklem $v = 275 \dots 375$ m/dak,

arasındaki hızlar için kullanılabilir.

☞ Kaplanmamış sert metal takım $v=400$ m/dak'da hemen, hemen hiç dayanmadığından onun bu hız için denklemi verilmemiştir.

☞ Bu denklemler aşağıda ele alınacak olan hız-ömür denklemleri için kullanılabilir. Hız-ömür denklemleri, belirli bir aşınma değeri için geçerlidir. Seçilen aşınma değeri parçaya artık yüzey kalitesi bakımından zarar verecek veya tezgahın dinamik stabilitesi etkileyecek niteliğini taşımaması gerekir. Burada buna izin verilen aşınma değeri denilecek ve VB_{kr} olarak gösterilecektir. Ancak bu değer seçilmesi o kadar kolay bir iş değildir. Eğer VB_{kr} değeri gereğinden daha küçük seçilirse, takımın kesme kapasitesi tam olarak kullanılmadığı demektir. Gereğinden daha büyük şekilde seçilirse, bir çok parça fire olacak anlamına gelmektedir. Bu nedenle genelde VB_{kr} , işletmelerin deneyimlerine bağlı olarak seçilir.

Buna göre belirli bir hız için aşınma-zaman denklemi:

$$VB_m = at + b$$

Şeklinde yazılırsa, belirli bir VB_{kr} değeri için,

$$VB_m = at + b = VB_{kr}$$

eşitliğinden

$$t = T = \frac{VB_{kr} - b}{a} \quad (8.7)$$

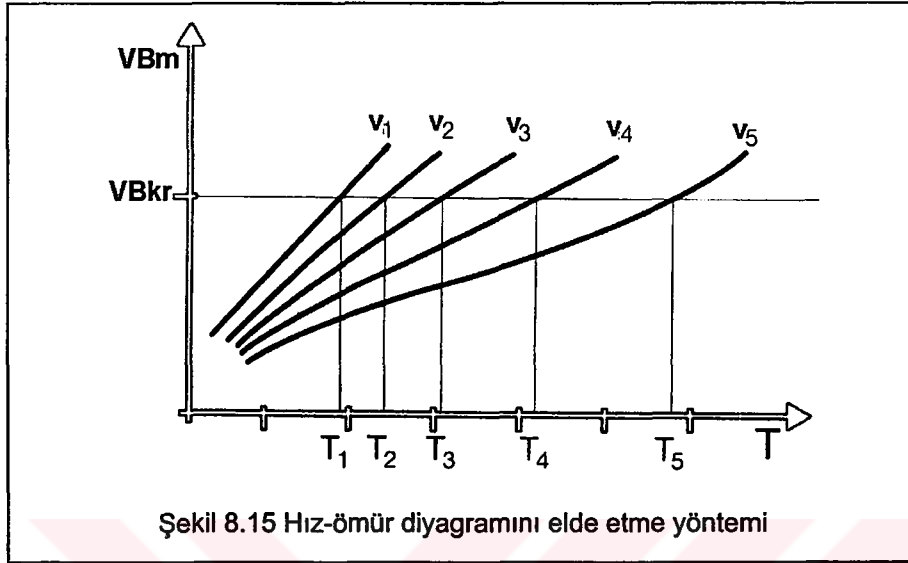
olarak bulunur.

8.4. ÖMÜR- HIZ DENKLEMLERİ

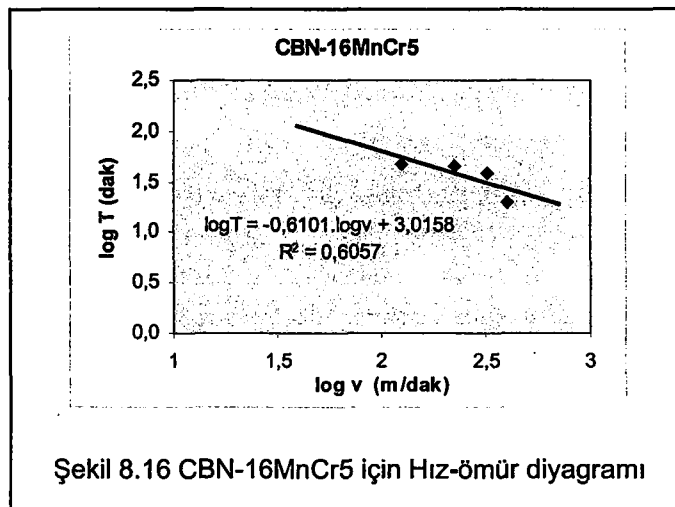
Aşınma değerlerin alışılmış bir değerlendirme şekli, Taylor'un denklemine dayanan hız ömür diyagramları veya denklemleridir. Aslında bu diyagram ve denklemler kesme hızı ile çalışma zamanı arasında bir bağıntı olarak ta algılanabilir. Ancak burada çalışma zamanı, takımın kullanılabileceği limit bir değerdir.

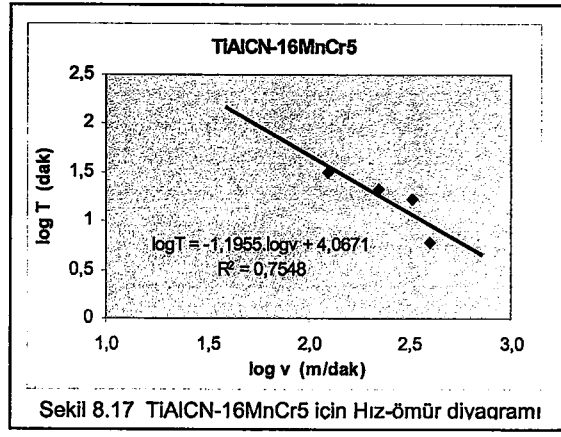
Hız-ömür diyagramı veya denklemi yukarıda da açıklandığı gibi belirli bir aşınma değeri için geçerlidir. Bu değer işletme ünitelerin tecrübelerine göre seçilmekle beraber, genel olarak bu hususta bazı öneriler vardır. İnce talaş kaldırmada genelde

$Hb_{kr}=0,3...0,4$ mm seçilmesi önerilir. Burada $Hb_{kr}=0,3$ mm seçilecektir. Şekil 8.15'de gösterildiği gibi çalışma zamanına bağlı aşınma diyagramı ele alınırsa belirli bir VB_{kr} değerine, kesme hızına bağlı, T_1 , T_2 , vb. gibi çeşitli ömür değerleri karşılık gelir. v_1 , v_2 , v_3 , ... ve onlara karşılık gelen T_1 , T_2 , T_3 ... değerlerin grafiği, hız- ömür diyagramını verir.



Bu ilkeye göre Tablo 6.1... Tablo 6.12'deki verilere dayanarak, her takım-parça malzemesi için $HB_{kr}=0,3$ mm'ye karşılık gelen hız-ömür değerleri tayin edilmiş, bunların regresyon yöntemi ile aşağıda gösterilen çift logaritma eksenlerine göre diyagramları çizilmiş ve denklemleri elde edilmiştir. Burada bu diyagramlar yalnızca CBN-16MnCr5 (Şekil 8.16) ve TiAlCn-16MnCr5 (Şekil 8.17) için verilmiştir. Diğer malzemelerin diyagramları Ek C'de verilmiştir.





Genelde:

$$v^k \cdot T = C \quad (8.8)$$

şeklinde yazılan Taylor denklemi, logaritma uygulandığında

$$\log T = -k \cdot \log v + \log C \quad (8.9)$$

şeklinde yazılır. Burada $k=1/n$ dir. Yukarıdaki diyagramlarda verilen ve genel olarak

$$\log T = -k \cdot \log v + \log b \quad (8.10)$$

yazılan Hız-Ömür denklemleri, bu denklemi esas alarak tayin edilmiştir. Diyagramlar ve denklemlerin R^2 uygunluk katsayısı dikkate alınırsa şu sonuçlar elde etmek mümkündür.

☞ Diyagram şekillerine ve uygunluk katsayısına göre bazı deney sonuçları çift logaritma eksen sisteminde doğrusal bir bağıntı göstermemektedir. Buna göre doğrusal bağıntıyı kabul etmek için $R^2 \geq 0,90$ limit bir değer olarak alınırsa, şu ilginç sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

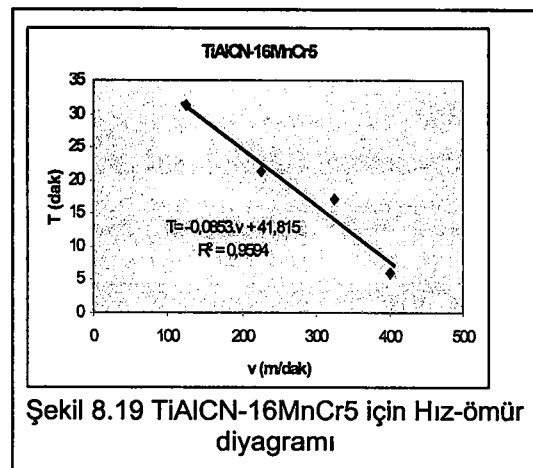
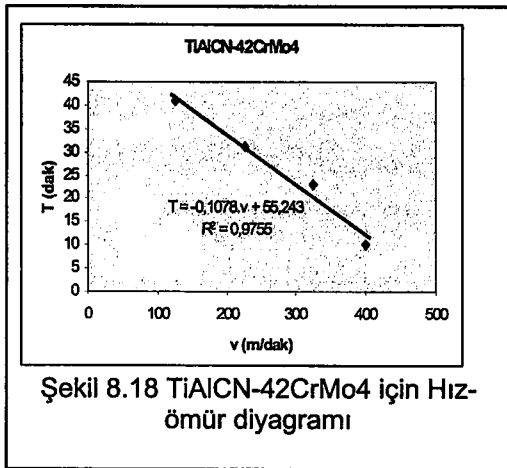
- CBN takımı yalnızca kalıp malzemesi için doğrusal bir bağıntı göstermektedir ($R^2=0,9062$).
- Aynı şekilde TiAlCN ($R^2=0,9708$) ve TiCN ($R^2=0,95859$) takımları kalıp malzemesi için doğrusal bir bağıntı göstermektedir.

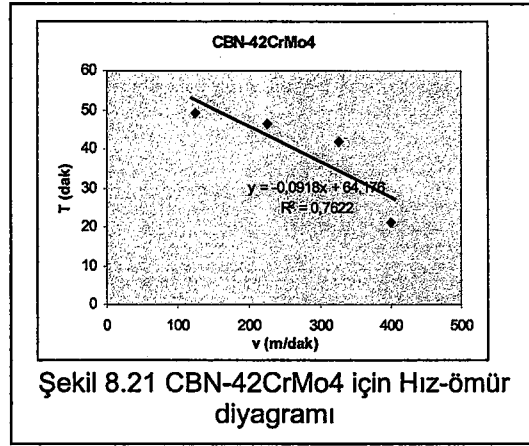
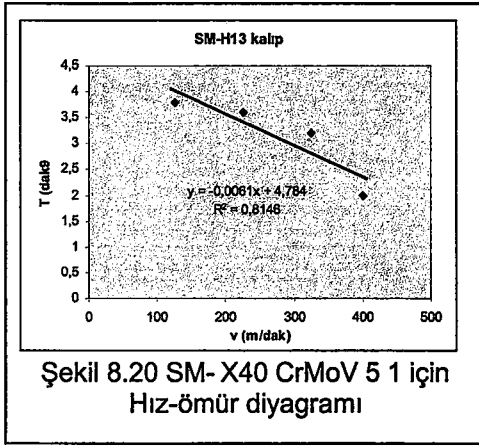
- Kaplanmamış SM-sert metal aksine 42CrMo4 ($R^2=9485$) ve 16MnCr5 ($R^2=0,9397$) için doğrusal bir bağıntı göstermiştir.

☞ Bu sonuç ilke bazında Taylor bağıntısının doğruluğunu ortadan kaldırmaz . Taylor bağıntısı genelde takım olarak karbon çeliklerin kullanıldığı çok düşük hızlarda ve hızlar arası farkların çok büyük olmadığı durumda yapılan deney sonuçlarına dayanarak elde edilmiştir. Bununla beraber daha sonra hız çelikleri, sert metaller ile yapılan deneylerde bu bağıntının doğruluğu ispatlanmıştır. Ancak bu deneylerde de takım-parça malzemesi için en uygun hızlar alınmış ve hızlar arası farkların oldukça az tutulmuştur. Üstelik bir çok deneylerde istatistik kuralları uygulanmamıştır.

☞ Bu gözlem şu sonuca götürmektedir. Her takım- malzeme çifti, çift logaritma koordinat sisteminde doğrusal bir bağıntı göstermeyebilir. Hızlar arası farklar çok büyük, bu hızların arasında bizim deneylerde olduğu gibi $v=400$ m/dak gibi limit değerler ve genelde hızlar yüksek olduğu durumda, Taylor bağıntısı geçerli olmayabilir.

Bu sonuçlara göre çift logaritma koordinat sisteminde doğrusal bir bağıntı göstermeyen takım-parça malzemeleri, kartezyan T-v koordinat sisteminde temsil edilmiş ve aşağıda TiAlCN-42CrMo4 (Şekil 8.18) ve TiAlCN-16MnCr5 (Şekil 8.19) için gösterildiği gibi oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumda sırasıyla uygunluk katsayısı $R^2=0,9755$ ve $R^2=0,9594$ ile doğrusal bir bağıntı elde edilmiştir. Bununla beraber bazı takım-parça malzemeleri için örneğin SM-kalıp malzemesi (Şekil 8.20) için hiç bir bağıntı uydurulamamıştır. Benzer bir durum CBN-42CrMo4 (Şekil 8.21) ve CBN-16MnCr5 için de elde edilmiştir.





Tüm bu hususları dikkate alarak, aşağıda verilen denklemler, yalnızca doğrusal hız-ömür bağıntısı gösteren takım-parça malzemeleri için geçerlidir. Tüm bağıntılar $VB_{kr}=0,3$ mm için geçerlidir.

1. Takım malzemesi CBN.

- a. 42CrMo4: $T = -0,092.v + 64,18$ ($R^2=0,762$)
- b. 16MnCr5: $T = -0,094.v + 63,30$ ($R^2=0,806$)
- c. H13 Kalıp: $T = -0,061.v + 30,26$ ($R^2=0,944$)

2. Takım malzemesi TiAlCN.

- a. 42CrMo4: $T = -0,108.v + 55,24$ ($R^2=0,976$)
- b. 16MnCr5: $T = -0,023.v + 12,19$ ($R^2=0,930$)
- c. H13 Kalıp: $T = -0,085.v + 41,82$ ($R^2=0,959$)

3. Takım malzemesi TiCN.

- a. 42CrMo4: $T = -0,089.v + 42,56$ ($R^2=0,956$)
- b. 16MnCr5: $T = -0,065.v + 31,00$ ($R^2=0,998$)
- c. H13 Kalıp: $T = -0,017.v + 9,61$ ($R^2=0,940$)

4. Takım malzemesi SM.

- a. 42CrMo4: $T = -0,041.v + 19,86$ ($R^2=0,985$)
- b. 16MnCr5: $T = -0,024.v + 12,36$ ($R^2=0,939$)
- c. H13 Kalıp: $T = -0,006.v + 4,78$ ($R^2=0,814$)

Yukarıdaki bağıntılarda görüldüğü gibi, yalnızca CBN-42CrMo4 ($R^2=0,762$), CBN-16MnCr5 ($R^2=0,806$) ve SM-H13 Kalıp ($R^2=0,814$) malzeme çiftlerinde $R^2 \leq 0,90$ 'dır. Bu husus daha önce açıklanan sonuçlara uygundur.

8.5 SONUÇLAR

Yukarıdaki incelemeden şu sonuçlar elde etmek mümkündür.

1. Aşınma denklemlerini elde etmek için en küçük kareler yöntemine dayanan regresyon analizi kullanılmıştır. Denklemler yalnız başına veya grafiklerle birlikte verilmiştir.
2. Aşınma denklemleri, çalışma zamanına ve hız- ömür diyagramları olmak üzere iki şekilde verilmiştir.
3. Aşınma-çalışma zamanları denklemlerine gelince, doğrusal aşınma göstermeyen takım-malzeme çiftleri için en uygun denklem, beşinci derecede polinom şeklindeki denklemdir. Ancak bu denklemlerde birden daha yüksek olan kuvvetlerin katsayıları çok küçük olduğundan, bu malzemelerin aşınma-çalışma zamanı denklemleri yaklaşık doğrusal olarak gösterilebilir. Buna göre deneylere tabi tutulan tüm takım-parça malzeme çiftleri için doğrusal aşınma-çalışma denklemleri verilmiştir.
4. Aşınmanın Hız-ömür diyagramlarına gelince, burada çift logaritm koordinat sisteminde, takım-parça malzeme çiftlerinin doğrusallık derecesi için $R^2 \geq 0,90$ limiti konulmuştur. Bu kritere göre, bazı takım-malzeme çiftleri, çift logaritm koordinat sisteminde doğrusal bir bağıntı göstermemişler, ancak T-v kartezyen koordinat sisteminde doğrusal bir bağıntı göstermişler, iki tanesi ise hiçbir sistemde doğrusal bir bağıntı göstermemiştir. Bu iki malzeme hariç, diğer takım-parça malzeme çiftleri için Hız-ömür denklemleri verilmiştir. Bu denklemler $VB_{kr}=0,3$ mm için geçerlidir.
5. Aşınma olayının denklemlerle temsil edilmesi bir çok avantajları vardır. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir.
 - Denklemler deneylerde yer almayan faktörler için de kullanılabilir. Örneğin aşınma ile kesme hızı v ve talaş kaldırma zamanı t arasında $VB_m=f(v,t)$ şeklinde bir denklem bulunursa, bu denklem her hangi bir v veya t faktörü için kullanılabilir.

- Faktörlerin arasında etkileme kuvveti daha iyi görülebilir. Örneğin $VB_m = av^3 + bt$ şeklinde bir denklem bulunursa, aşınmanın hız tarafından çok daha kuvvetli bir şekilde etkilendiği kolayca görülür.
- Optimizasyon işlemlerine tabi tutulabilir. Örneğin $t = \text{sabit}$ için $\partial VB_m / \partial v$ incelenebilir, olayın limitleri ve $\partial VB_m / \partial v = 0$ koşulundan v_{opt} optimum noktası bulunabilir. Bununla beraber maliyet esasına dayanan optimizasyon yapılabilir.
- Günümüzde CNC tezgahları, takım aşınmasını sürekli kontrol edilen ve bunları otomatik olarak telafi eden sistemlerle donatılmıştır. Bu sistemler belirli bir aşınma denklemine göre kodlanmaktadır. Literatürde [74-76] bu hususta verilen yöntemleri kullanılarak, bu çalışmada verilen denklemler takım aşınmasını kontrol ve telafi etmek için kullanılabilir.



9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

1. Günümüzde talaş kaldırma alanında; hızlı talaş kaldırma, sert talaş kaldırma ve kuru talaş kaldırma olarak adlandırılan, devrim niteliğini taşıyan ve günden güne gelişen, yeni oluşumlar uygulamaya konulmuştur. Bu gelişmelere uygun olarak tezin konusu: “CNC TAKIM TEZGAHLARINDA HIZLI TALAŞ KALDIRMA PROSESİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ” olarak saptanmıştır. Buna göre talaş kaldırma prosesi olarak frezeleme seçilmiş ve bu prosesin incelenmesi takım aşınması ve takım ömrü esaslarına göre yapılmasına karar verilmiştir.
- a. Buna göre ilkin talaş kaldırma ve işleme zamanının ve ayrıca işleme maliyetinin azaltılmasına bağlı olarak, hızlı talaş kaldırmanın gerekliliği üzerinde durulmuş (Bölüm 1), literatürde verilen bilgilere dayanarak talaş kaldırma prosesi incelenmiş (Bölüm 2), bu hususta talaşın ana malzemeden plastik şekil-değiştirmenin sonucu meydana geldiği, bu şekil değiştirmeler ana kesme bölgesi (düzlemi) denilen bir bölgede yoğunlaştığı anlaşılmıştır. Malzemeden ayrılan talaş takımın kesme yüzeyinden kayarak ikinci kesme düzlemi denilen bir akma bölgesi oluşturarak ana malzemeden uzaklaştığı gösterilmiştir. Bununla beraber bazı araştırmacılar kesme ucun önünde ve arkasında henüz yeterli derecede ispatlanmamış bir üçüncü kesme bölgesinin meydana geldiği öne sürdükleri açılanmıştır. Talaş kaldırma prosesi, prosesin temelini oluşturan talaşın oluşumunda ve uzaklaşmasında, gerek parça, gerekse talaşla temasında sürekli temiz yüzeylerle temas ettiği takım, yüksek basınç ve kayma gerilmelere zorlandığı, temas yüzeylerde fevkalade bir sürtünme ve ayrıca kimyasal etkileme meydana geldiği belirtilmiştir. Tüm bu olaylar takım aşınmasına neden olduğu, ısının ve buna bağlı fevkalade sıcaklıkların ve ayrıca termal şokların olduğu bir ortamda gerçekleştiği gösterilmiştir. Bu olaylar teorik olarak incelenmiş ve talaş oluşumunu en iyi yansıtan, sürtünme açısı ve takımın talaş açısına bağlı olan ϕ kesme açısının değeri olduğu açıklanmıştır.
- b. Tezde incelenecek bir faktör olan takım aşınması, yine literatürde verilen bilgilere göre incelenmiş, takımın abrazyon , difüzyon , oksidasyon , yorulma ve adezyon

gibi aşınmalara maruz kaldığı ve bunlardan en etkili adezyon ve sonra abrazyon aşınması olduğu gösterilmiştir. Standart niteliğini taşıyan simgeleme olarak genelde serbest yüzeyde adezyon aşınması VB, krater aşınması ise KT ile gösterildiği açıklanmıştır. Aşınma ile ilgili takım ömrü üzerinde durulmuş ve takım ömrü, takımın kesme ucunda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar talaş kaldırma zamanı olarak ifade edilmiştir. Aşınma- takım ömrü ilişkisi teorik olarak incelenmiş ve bu ilişkiyi ifade edilen bağıntılar verilmiştir.

- c. Yeni bir oluşum olduğundan, literatürde verilen bilgilere göre hızlı talaş kaldırma olayı ele alınmış (Bölüm 3), bu oluşumun proses-tezgah-takım entegrasyonu şeklinde geliştiği gösterilmiştir. Proses bakımından çeşitli görüşlere karşın hızlı talaş kaldırma; ilerleme hızını, kesme hızını, takım ve parça değiştirme zamanını ve tezgah dinamiğini, bugüne kadar alışılmış değerlerin çok üstünde (5...10 misli) kontrol edilebilen talaş kaldırma prosesi olarak ifade edilmiştir. Hızlı talaş kaldırma olayının avantajları ve noksanları verildikten sonra hızlı talaş kaldıran tezgahların analizine geçilmiştir. Bunların yeni konstrüksiyona sahip tezgah tipleri olduğunu, bu konstrüksiyonun esasını doğrusal motorlar, yekpare iş milleri, çok rijid gövde yapıları ve hibrid (seramik bilyalı) yataklar ve kızaklar ve ayrıca yeni bir CNC kontrol tipi olduğu açıklanmıştır. Hızlı talaş kaldırma yöntemin meydana gelmesinde, gerek takım malzemesi, gerekse takım konstrüksiyonu alanındaki gelişmeler büyük rol oynamıştır. Bu alanda seramik, sermet, kubik bor nitrid (CBN) ve özellikle kaplanmış takımların gelişmesi, hızlı talaş kaldırmanın gerçekleşmesini mümkün kılmıştır.
- d. Tezde incelenen talaş kaldırma prosesi frezeleme olduğundan, literatüre dayanarak frezeleme hakkında en son bilgiler verilmiştir (Bölüm 4). Bu hususta fiziksel ve analitik bakımından frezeleme prosesinin analizi yapılmıştır. Frezeleme işleminin başlıca özellikleri yüksek talaş kaldırma hacmi, iyi bir doğruluk ve yüzey kalitesi ve şekil esnekliği yani çok çeşit ve karmaşık geometrik yüzeylerin meydana getirmesi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu işlemde kullanılan çözülebilir takımların geometrisi üzerinde durulmuş, prosesin kesme koşulları ele alınmış ve burada en önemli özellik olarak frezelemede talaş kalınlığının değişken olduğu gösterilmiştir. Buna göre kesme koşulları faktörleri ve talaş kaldırma kuvvetleri teorik ve analitik olarak incelenmiştir.
- e. Tezde incelenen konunun teorik temelini oluşturan bu bilgiler verildikten sonra deneyle ilgili açıklamalara geçilmiş ve burada öncelikle deney faktörlerin seçimi

yapılmıştır (Bölüm 5). Bu amaçla tezgah olarak genel frezeleme işlemlerinde kullanılmakla beraber, özellikle kalıp imalatı için tasarlanmış, üç eksenli, yüksek bir rijitliğe ve dinamik stabiliteye, 7.5 kW güç (iş mili) motoruna, 45...18.000 d/dak. iş milin dönme hızına ve 1...5000 mm/dak kesme ilerleme hızına sahip, SUPERMAX YCM-V105 A işleme merkezi seçilmiştir. Deneylerde, CBN (kübik bor nitrid), TiAlCN (titan alüminyum- karbon -azot) ve TiCN (titan-karbon-azot) kaplı kobalt esaslı karbür ve ayrıca kaplanmamış (kobalt esaslı karbür (sert metal-SM) olmak üzere dört takım malzemesi ile donatılmış, çapı 12 mm olan küresel parmak freze tipi kullanılmıştır. Parça malzemesi olarak 42 CrMo4 (SAE $\approx$ 4150) ıslah çeliği, 16 MnCr5 sementasyon çeliği ve X 40 CrMoV 5 1 (SAE H13) kalıp çeliği seçilmiştir. İşleme tabi tutulan parça şekilleri $b \times L \times h = 100 \times 200 \times 50$ mm boyutunda bir blok şeklinde olup, bu blok işlenerek üst kısmı bombeli ($R=70$ mm) haline getirilmiştir. Tüm malzemeler $RC=40 \pm 2$ 'ye kadar sertleştirilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığından oluşan kesme koşulları bakımından deneyler, ilerleme ve paso kalınlığını sabit tutarak dört kesme hızında yapılmıştır. Takım malzemesinin tam kabiliyetini görmek için kesme hızları için $v=125, 225, 325$ ve 400 m/dak değerleri, ilerleme $s=0,2$ mm/dev ve paso kalınlığı $a=1,5$ mm seçilmiştir. Talaş kaldırma sırasında % 10 emulsiyon kesme sıvısı kullanılmıştır. Deney parçaları sertleştirildikten, yıkandıktan ve kurultulduktan sonra tezgaha bağlanmış ve kaba ve ince talaş ayırımı yapmadan aynı kesme koşullarında, istenilen şekli alıncaya kadar işlenmiştir. İşleme sırasında $t=4, 6, 10, 16, 20, 24, 31, 41, 50$ dakikanın sonunda işleme durdurulmuş ve takım aşınması incelenmiştir. Aşınma değerleri mikroskopla ölçülmüş ve ağız boyunca düzgün olmayan aşınmalar ortalama VBm aşınma değeri ile ifade edilmiştir.

- f. Deney ve ölçme işleminde elde edilen VBm ortalama aşınma değerleri tablo şeklinde düzenlenmiştir (Bölüm 6). Buna göre değerler takımlara göre gruplandırılmış olup, her grupta dört deney malzemesi yer almıştır. Tablodaki değerlere dayanarak her takım ve parça malzemesi için kesme hızları $v=125$ m/dak, $v=225$ m/dak, $v=325$ m/dak ve $v=400$ m/dak için diyagramlar çizilmiştir. Bu şekilde toplam 12 tablo ve toplam 12 diyagram elde edilmiştir. Tüm veri toplama, veri işleme ve diyagramların çiziminde Microsoft Excel programı kullanılmıştır.
2. Deney sırasında takımların incelenmesinden, kesmenin ilk kademesinde takım aşınması, kesme hızının maksimum olduğu yerde başladığı, kesmenin ilerlemesi

ile parça ile temasın tüm uzunluğu boyunca düzgün bir takım aşınmanın geliştiği görülmüştür. Tüm deneylerde aşınma adezyon aşınması şeklinde olmuştur. Krater tipi aşınma görülmemiştir. Tüm takımlarda aşınma serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Bununla beraber mikroskopla yapılan incelemelerde, kesme koşullarına bağlı olarak talaş yüzeyinde özellikle kaplamasız sert metallerde plastik deformasyon izleri görülmüştür. Ayrıca bazı durumlarda takımın kesme ağzında çimdiklenme (çentik) şeklinde, ufalık parçacıkların koptuğu görülmüştür. Ayrıca CBN takım malzemesinde, bu malzemenin bağlayıcı malzemesini oluşturan kobaltın, talaşa nüfus etmesi olayına rastlanmıştır. Bu olay takım strüktürünün bağlamasını zayıflatmakta ve serbest yüzeyde abrazyon aşınmasına meydana getiren bazı CBN parçacıkların ayrılmasına neden olmuştur. Belki bu parçacıklar, takım ağzında çentik aşınması meydana getirmiş olabilir.

3. Tablo ve diyagram şeklinde verilen deney sonuçlarının irdelenmesinden (Bölüm 7) iki tip aşınma meydana geldiği görülmüştür. Normal (sabit) aşınma denilen birinci aşınma modelinde, hızlı bir büyümeden sonra aşınma sabit kalmakta ve belirli bir zamandan sonra hızlı bir büyüme göstermektedir. Doğrusal aşınma denilen ikinciside ise ilk andaki hızlı büyümeden sonra aşınma sürekli büyümektedir. Bu husus Literatürde , hemen, hemen hiç incelenmemiştir. Halbuki bu iki aşınma arasında etki bakımından bir fark vardır. Takım ömrü, aşınmanın yüzey kalitesi bakımından parçaya zarar verme ifadesine bağlanmıştır. Buna göre sabit aşınmada, takım aşınması uzun bir süre sabit kaldığı için parçaya bu süre içinde bir zarar vermemekte yani yüzey kalitesi aynı kalmaktadır. Ancak aşınmanın büyümeye başladığında bir zarar söz konusu olmaktadır. Doğrusal aşınmada, aşınma sürekli büyüdüğü için, parçaya sürekli zarar verilmekte, yani parçanın yüzey kalitesi sabit kalmayıp gittikçe kötüleşmektedir. Buna göre aşınmanın sabit aşınma şeklinde gelişmesi, yüzey kalitesini işleme boyunca sabit tuttuğu için, doğrusal aşınmadan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Sabit aşınmada, sabit aşınma zamanı ne kadar daha büyük olursa, takım ömrü o kadar daha büyük olur. Ayrıca doğrusal aşınmada doğrunun eğimi ne kadar daha az olursa, takım ömrü o kadar daha büyük olur.
4. Deneylerde kullanılan takım ve parça malzemelerinin karşılaştırılması, aşınmanın gelişme tipine, sabit aşınma zamanına ve aşınma doğrusunun eğimine göre yapılmıştır. Bu bakımından aşınma gelişme tipine göre deneylerde kullanılan tüm takımlarda parça malzemesinin sertliği yükseldikçe, sabit bir

aşınma tipinden, doğrusal bir aşınma tipine gidilmektedir. Örneğin en yüksek sertliğe sahip kalıp malzemesi için hemen hemen tüm takımlarda aşınma tipi doğrusaldır. Bununla beraber her malzeme için kesme hızı artıkça aşınma gelişme tipi, sabit aşınmadan doğrusal aşınmaya doğru yönelmekte ve $v=400$ m/dak kesme hızında doğrusal veya doğrusala çok yakın olmaktadır. Takımlar arası en iyi davranışı CBN takımı göstermiştir. Bu takımın özellikle makine konstrüksiyonunda oldukça yaygın bir şekilde kullanılan 42CrMo4 ıslah çeliği ve 16MnCr5 sementasyon çeliği için çok iyi bir aşınma davranışı olduğu görülmüştür. Bu malzemeler için aşınma gelişme tipi, sabit aşınma tipi olmakla beraber sabit aşınma zamanı oldukça büyüktür. Bu malzemeler için $v=400$ m/dak kesme hızında dahi aşınma tipi sabit aşınma tipidir. Davranış bakımından ikinci sırada dördü kaplama malzemesine sahip TiAlCN kaplı sert takım malzemesi yer almıştır. Bu takımın aşınma gelişme tipi, sabit aşınma tipidir. Hata bu takım, kalıp malzemesi ve $v=400$ m/dak için de sabit aşınma gelişme tipine sahiptir. Üçüncü sırada TiCN ile kaplı sert takım malzemesi yer almaktadır. Bu takım malzemesinin aşınma gelişme davranışı TiAlCN ile kaplanmış sert takım malzemesine benzemektedir. Ancak değer bakımından, aynı çalışma zamanlarına daha yüksek aşınma değerlerine sahiptir. Benzer bir davranış dördüncü sırada yer alan kaplanmamış sert metal takım malzemesi göstermektedir. Bu benzerlik özellikle $v=125$ m/dak, $v=225$ m/dak ve $v=325$ m/dak kesme hızları için geçerlidir. Ancak $v=400$ m/dak'da bu takımın aşınma gelişmesi belirgin bir şekilde doğrusal olmakta ve değer bakımından diğer hızlardan çok farklı olmaktadır. Bu gözlemlerden şu sonuçlar elde edilmiştir. Deneye tabi tutulan takım malzemeleri aşınma gelişme tipi bakımından iki gruba ayrılabilir: birisi CBN takım malzemesi, diğeri SM (sert metal) malzemesi. Bu ikincisi de kaplanmış ve kaplanmamış olmak üzere iki gruba ayrılabilir. CBN takım malzemesinin aşınma gelişme tipi makine konstrüksiyonunda kullanılan malzemeler için, sabit aşınma tipi göstermekte, kalıp malzemesi için doğrusal tipe yönelmektedir. Ana malzemeleri sert metal (karbür) olan takım malzemeleri, tüm parça malzemeleri için sabit aşınma tipi göstermektedirler. Ancak sabit aşınma zamanları kaplı olup olmadıkları, kaplı oldukları durumda kaplama malzemesine bağlıdır. Bu bakımından en büyük sabit aşınma zamanı, TiAlCN ile kaplı takım göstermektedir. Bunu TiCN ile kaplı olan takım ve bunu da kaplı olmayan sert takım malzemesi takip etmektedir. Ayrıca bu son takım malzemesi, kaplanmış takımların aksine yüksek hızlarda ($v=400$ m/dak) bir aşınma dayanımı göstermiştir. Bununla beraber TiAlCN ile kaplı sert metalin, 50CrMo4 ve 16MnCr5 için sabit aşınma zamanı, CBN takımın aynı malzemelere

ait sabit aşınma zamanından daha küçüktür. Ana malzemesi sert metal olan takımların benzer bir şekilde davranması, takımı oluşturan ana malzemenin bir etkisi olarak algılanması gerekir. Kaplamalar yalnızca değer bakımından bir iyileştirme meydana getirebilirler. Bu hususta elde edilen önemli bir sonuç takımın genel davranışını, o takımın ana malzemesi tayin eder. Kaplamalar yalnızca değer bakımından olayı etkilerler. Kaplanmamış sert metal takımın $v=400$ m/dak'da farklı davranış ve değerler göstermesi, bu malzemenin yüksek kesme hızlarında kullanılacak takım malzemesi olmadığını göstermektedir.

5. Kesme hızın etkisi, hem aşınma değerlerini, hem de aşınmanın gelişme tipini etkilemektedir. Doğal olarak kesme hızı artıkça aynı çalışma zamanı için, aşınma değerleri artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Fakat ilginç olanı kesme hızının aşınmanın gelişme şeklini etkilemesidir. Hızın etkisi bakımından CBN ve sert metal takımlar arasında belirgin bir fark görülmektedir. Kesme hızların büyümesi ile CBN takımında aşınmalar yaklaşık orantılı olarak büyümektedir, yani aşınmanın gelişmesi ne olursa olsun, çeşitli hızları temsil eden eğriler arasında bariz bir fark yoktur. Sert metal takımlarda ise, $v=400$ m/dak ile diğer hızlar arasında gözle gözüktür bir fark vardır. Bu bakımından $v=125$ m/dak, $v=225$ m/dak, $v=325$ m/dak hızları bir grup, $v=400$ m/dak başka bir grup oluşturmaktadır. Bu grupların arasında en küçük fark TiAlCN kaplı takıma aittir. Biraz daha büyük bir fark TiCN kaplı takımda vardır. Kaplamasız sert metalde ise fark çok büyük olmakla beraber, bu takımda $v=400$ m/dak'da aşınmanın gelişmesi doğrusal olmaktadır. Bu gözlemler şu sonuca götürmektedir. Hızların orantılı bir şekilde büyümesine karşın, aşınma değerlerin aşırı derecede büyümesi, o takım malzemesinin yaklaşık kesme hızı sınırına yaklaştığı anlamına gelir. Örneğin sert metaller için $v=400$ m/dak, deneylerde kullanılan kesme koşulları için sınır bir hızdır. Belki TiAlCN kaplı takım hala bu hızda kullanılabilir, ancak diğerleri ve özellikle kaplamasız sert metal bu değerinde kullanılamaz.
6. Değerlere göre karşılaştırma yapılması için, deney verileri her parça malzemesine bağlı olarak takım aşınma değerleri $v=225$ m/dak kesme hızına göre yeniden düzenlenmiş ve düzenlenen veriler tablo ve diyagram şeklinde gösterilmiştir. Burada $v=225$ m/dak kesme hızının seçilmesi, bu hızda tüm malzemelerin iyi bir aşınma davranışı göstermelerine bağlıdır. Bu tablo ve diyagramlardan görüldüğü gibi: tüm durumlarda en iyi davranış gösteren CBN takım malzemesidir. Ondan sonra TiAlCN kaplamalı sert metal, onun arkasında

TiCN ile kaplı sert metal ve en sonunda kaplamasız sert metal takımı gelmektedir. Şekiller dikkatle incelenirse, tüm durumlarda üç takım grubu oluşmuş gibi görünmektedir. Bunlardan birincisi CBN, ikincisi yakın değerlere sahip TiAlCN ve TiCN kaplı sert metal ve üçüncü grup kaplamasız sert metal.

7. Yapılan deneyler ve bu deney sonuçlarının incelemesine dayanarak hızlı talaş kaldırmada talaş kaldırma ve aşınma ile ilgili şu teori öne sürülebilir. Hızlı talaş kaldırmanın iki önemli engeli vardır. Birincisi ısı oluşumu ve ona bağlı olan sıcaklık, ikincisi dinamik stablitedir. Dinamik stabilite bu tezin inceleme alanı dışındadır. Burada talaş kaldırma prosesine bağlı sıcaklık ele alınacaktır. Sıcaklığın etkilemesi iki yönde olmaktadır. Birincisi sıcaklık malzeme mukavemetini etkileyerek takımın kesme kabiliyetini azaltmakta ve takım aşınmasına ortam yaratmaktadır. Bu bakımından takımın "sıcak sertlik " denilen özelliği büyük önem taşımaktadır. İkinci yön termik şoktur. Termik şok takımın ardışık ısınması ve soğumasından ileri gelmektedir. Talaş kaldırma prosesin esasları incelenen Bölüm 2'de gösterildiği gibi, talaş kaldırma sırasında, takımın gerek parça , gerekse talaş ile sürekli oluşan temiz yüzeylerle temasta bulunması, temas yüzeylerinde yüksek basınçlar, fevkalade sürtünme, takımın kesme ağzında doğru yüksek mekanik ve termik gerilmeler, kimyasal aktivite, yüksek ısı ve sıcaklık ve ayrıca termal şoklar meydana gibi olaylar meydana gelmektedir. Eğer takım ile temas ettiği yüzeyler arası, bu olayların çoğunu veya hepsini azaltan veya bertaraf eden, tıpkı yağlamada olduğu gibi, bir ara malzeme konulursa o zaman çok yüksek hızlarda ve çok sert malzemelerde talaş kaldırma mümkün olabilir. Yalnız bu bölgede meydana gelen yüksek basınç ve gerilmelerden dolayı, bu ara malzemelerin mukavim olmaları gerekir. İşte takımlara uygulanan kaplamalar bu ara malzeme rolünü yapmaktadır. Kaplamalar sürtünmeyi azaltan bir yağlayıcı madde, ısıyı ve termal şoklara karşı bir engel (baraj) oluşturan ve kimyasal aktiviteyi ve talaşın yapışması önleyen bir ara malzeme gibi davranmaktadır. Günümüzde tüm bu olayları azaltan tek bir malzeme olmadığına göre kaplama malzemelerin özelliklerini dikkate alarak çok tabakalı kaplamalar yapılmaktadır. Örneğin çok iyi aşınma dayanımına, tokluğa sahip TiCN tabakasına alüminyum bir tabakanın ilave edilmesi, parça ile takımın ana malzemesi arsında baraj etkinliğini artırmaktadır. Seramik malzeme olan alüminyum oksidi Al_2O_3 , sertliğin yanı sıra, yüksek ısı dayanımına ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Tüm bu hususlar deneylerde elde edilen sonuçlar tarafından doğrulanmaktadır. Buna göre en iyi davranış doğal kızıl sertliği çok yüksek olan CBN göstermiştir. Kaplanmış takımlardan ise, bünyesinde

alüminyum ve TiC bulunan dört tabakalı Ti AICN takımı en iyi davranış göstermiştir. Kaplanmamış sert metal takımı ise en kötü davranış göstermiştir. Bununla beraber deneylerden elde edilen bir başka önemli sonuç; talaş kaldırma prosesi esasen takımın ana malzemesine bağlıdır, kaplama malzemeleri ise parça ile takımın arasında yukarıdaki olayları bertaraf eden, önleyen veya azaltan yalnızca bir ara malzemesidir. Talaş kaldırma sürecinde, yani talaşın ana malzemedan ayrılmasında etkisi yoktur veya çok azdır. Bununla beraber daha 1931'de Salomon tarafından öne sürülen ve henüz ispatlanmayan bir varsayıma göre kesme hızın artması ile sıcaklığın zannedildiği gibi artmadığıdır. Bu varsayım; günümüzde yüksek talaş kaldırma, yalnızca yüksek kesme hızı ile değil, yüksek ilerleme hızı ile beraber gerçekleştirildiği dikkate alınması gerekir. Buna göre, talaş kaldırma çok daha kısa bir zamanda yapıldığı için, kesme ağzının parça ile temas zamanı önemli ölçüde azaldığı, frezelemede takım bir çok kesme ağzından (dişten) oluştuğu ve bu nedenle , her diş ile parça arasında temas frekansı yüksek fakat kavrama uzunluğu kısa olduğu ve ayrıca hızlı talaş kaldırmada genelde düşük talaş kalınlıkları (0,5..1,5 mm) kullanıldığı olgular bu varsayımı doğrular niteliğindedir. Salomon sıcaklığının azaldığını idia etmiştir. Son olarak parça ile takım arasında, kaplamalardan meydana gelen bir ısı bariyeri oluşturulmaktadır. Bu bariyer oluşan ısının çoğunluğunun, talaşla beraber dışarıya akmasını sağlamaktadır.

8. Tez ilgili son çalışmalar deney sonuçlarının analitik olarak değerlendirilmesidir (Bölüm 8). Analitik değerlendirme en küçük kareler yöntemine dayanan regresyon analizine göre yapılmış ve aşınma-çalışma zamanı ($VB_m=f(t)$) ve Taylor denklemi ($T=f(v)$) olmak üzere iki denklem grubu şeklinde gerçekleştirilmiştir.

a. Aşınma-çalışma zamanı denklemleri $VB_m=f(t)$, deney sonuçlarının verildiği Bölüm 6'daki tablo ve diyagramlara dayanarak yapılmış ve doğrusal bir aşınma gelişmesi göstermeyen takım-parça malzemesi çifti için, yapılan bir çok regresyon denemelerden sonra en uygun denklem, örneğin

$$VB_m=2E-08.t^5 - 2E-06.t^4 + 9E-05.t^3 - 0,0018.t^2 + 0,021.t - 0,0004, R^2=0,9984$$

şeklinde beşinci derecede polinom olduğu görülmüştür. Burada R^2 uygunluk katsayısı değeridir. Ayrıca bazı haller özellikle $v=400$ m/dak'a için $VB_m= a.t + b$ şeklinde doğrusal denklemlerde elde edilmiştir. Bununla beraber doğrusal olmayan beşinci derecede polinomlar incelendiğinde, tüm haller için polinom

katsayılarının çok küçük değerlere sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca beşinci derecede bir denklemin pratikte kullanılması çok zor olduğu hususu da dikkate alınarak, bu aşınma şeklini doğrusal bir şekilde temsil edilmesi maksada daha uygun olacağı sonuca varılmıştır. Aşınma gelişme denklemlerinin doğrusal şeklinde ifade edilmesi için iki yol seçilmiştir. Birincisinde deney noktalarının tümü muhafaza edilerek doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. İkincisinde ise, aşınmanın başlangıç ve çabuk aşınma başlayan son kısmını ihmal edilmiş ve yalnızca normal aşınma kısmı dikkate alarak regresyon analizi uygulanmıştır. Birinci yöntem orijinal, ikincisine ise düzeltilmiş denilmiştir. Düzeltilmiş yöntemi uygulamak için deney verileri maksada uygun olarak yeniden düzenlenmiştir. Her iki yöntemle elde edilen denklem ve grafikler uyumluluk dereceleri de dikkate alarak karşılaştırılmış ve düzeltilmiş yöntemde elde edilen denklemlerin uyumluluk dereceleri çok iyi olmakla beraber (genelde %99'ün üstünde), denklem değerleri de daha derli topludur. Bu sonuca göre deney değerlerinin denklemleri, düzeltilmiş yöntemine dayanarak doğrusal analize göre verilmesine karar verilmiş ve bu denklemler örneğin

$$VB_m = 0,0024.t + 0,0924$$

şeklinde gösterilmiş ve ayrıca diyagramları da çizilmiştir.

- b. Hız-ömür $T=f(v)$ denklemlerini elde etmek için izin verilen aşınma değeri $VB_{kr}=0,3$ mm olarak seçilmiş ve bu değerle aşınma –çalışma zamanı denklemlerinden, örneğin

$$T = -0,094.v + 63,30$$

şeklinde her takım-parça malzemesi için hız-ömür denklemleri bulunmuştur.

9. Aşınma değerlerinin denklemlerle temsil edilmesi şu faydaları sağlar. Denklemler deneylerde yer almayan faktörler için de kullanılabilir. Örneğin aşınma ile kesme hızı v ve talaş kaldırma zamanı t arasında $VB_m=f(v,t)$ şeklinde bir denklem bulunursa, bu denklem her hangi bir v veya t faktörü için kullanılabilir. Faktörlerin arasında etkileme kuvveti daha iyi görülebilir. Örneğin $VB_m=av^3+bt$ şeklinde bir denklem bulunursa, aşınmanın hız tarafından çok daha kuvvetli bir şekilde etkilendiği kolayca görülür. Optimizasyon işlemlerine tabi tutulabilir. Örneğin $t=\text{sabit}$ için $\partial VB_m / \partial v$ incelenebilir, olayın limitleri ve $\partial VB_m / \partial v = 0$ koşulundan v_{opt} optimum noktası bulunabilir. Ayrıca maliyet açısından optimizasyon uygulamalıdır. Günümüzde CNC tezgahları, takım aşınmasını sürekli kontrol edilen ve bunları otomatik olarak telafi eden sistemlerle donatılmıştır. Bu

sistemler belirli bir aşınma denklemine göre kodlanmaktadır. Bu çalışmada verilen denklemler, CNC tezgahlarında takım aşınmasını kontrol ve telafi etmek için kullanılabilir.

10. Öneriler kısmına gelince, Tezde yapılan deneysel çalışmalar çok karmaşık, çok zaman alıcı, maliyeti çok yüksek ve özellikle Ülkemizde uygun tertibatların bulunmamasından dolayı çok zor olarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle Tezde kesme faktörlerinden en önemlisi olan yalnızca kesme hızı bakımından inceleme yapılmıştır. İlerleme ve paso kalınlığı sabit tutulmuştur. Bu hususta ilerleme ve paso kalınlıklarını da değiştirerek ve ayrıca takım- parça malzemesini genişleterek örneğin seramik ve kaplanmış HSS takım malzemelerini de içeren deneyler yapılmasını önermekteyim.
11. Günümüzde talaş kaldırma yöntemi, yalnızca sanayileşmiş ülkelerde değil, Ülkemizde de sanayiinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Üstelik bu sanayi kolunda değer katma niteliği, diğer sanayi kollarına göre kat, kat daha yüksektir. Bu alanda imalat zamanının 1 dakika ile azaltılması, büyük maliyet tasarruflarına neden olmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi hızlı talaş kaldırma, parça imalat zamanını ve buna bağlı parça maliyetini azaltmakla birlikte yeni bir teknoloji konsepti de ortaya atmıştır. Bu konseptte göre, sert parçalar şekil veren talaş kaldırma (tornalama ve frezeleme) ile işlenebilmekle beraber, tüm işleme kaba ve ince talaş kaldırma ayırımı yapmadan aynı kesme koşullarında aynı takım ve aynı tezgahta gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla bu yöntemin Ülkemizde kullanılması ve yaygınlaştırılması, üretim maliyeti tasarrufu sağlamakla beraber, sanayimizin Batı ülkelerdeki sanayi ile rekabet edecek seviyeye getirecektir. Tezin konusu, bu yöntemin Türkiye’de rasyonel ve bilinçli bir şekilde kullanılması ve yaygınlaştırılması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- [1] **Akkurt, M.**, 1992. Takım Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] **Nakayama, K., Arai, M.**, 1992, Comprehensive Chip Form Classification based on the Cutting Mechanism, Ann CIRP, **41**(1), 71-74.
- [3] **Handbook**, 1980. Machining Data Handbook, 3 rd Edition, Vol 1, Machinability Data Center, Prentice Hall, New York.
- [4] **Kronenberg, M.**, 1966. Machining Science and Application, Pergamon Pres, Oxford.
- [5] **Boothroyd, G.**, 1975. Fundamental of Metal Machining and Machine Tool, McGraw-Hill, New York.
- [6] **Taylor, F. W.**, 1907. On the Art of Cutting Materials, ASME Transactions, **28**,31-39.
- [7] **Sandvik-Coromat**, 1994. Modern Metal Cutting, Sandvik-Coromat, İsveç.
- [8] **Armarego, E.J.A. and Brown, R. H.**, 1973. The Machining of Metal, Prentice Hall, New York.
- [9] **Merchant, M.E.**, 1945. Mechanics of the Metal Cutting Process, Plasticity Condition in Orthogonal Cutting, J. Appl. Phys., **16**, 318-324.
- [10] **De Garmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R. A.**, 1988. Material and Processes in Manufacturing, Macmilan Publishing Company, New York.
- [11] **Shaw, M. C.**, 1991. Metall Cutting Principles, Claredon Press, Oxford.
- [12] **Trent, E.M., Metal Cutting**, 1984.Butterworts, London.
- [13] **Shaw M. C. and Vyas A.**, 1993. Chip Formation in Machining of Hardened Steels, CIRP Annals, **42**, 29-32
- [14] **Konig W., Klinger M., and Link R.**, 1990. Machining of Hardened Steels with Geometrically Defined Cutting Edges - Field of Application and Limitations" CIRP Annals, **39**, 64-4.
- [15] **Koeper, C.**, 1997. Tool System Consideration For High Speed Machining , Modern Machine Shop, August, 84-89.

- [16] **Oxley, P. L. B.**, 1989. *Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability*, Ellis Horwood, Chichester.
- [17] **Nakayama, K.**, 1963. An Approach to the Prediction of Cutting Force, *Bulletin of the Faculty of Engg., Yokohama National University*, 83-88.
- [18] **Bowden, F. P. and Tabor, D.**, 1964. *Friction and Lubrication of Solid*, Oxford University Press.
- [19] **Lee, E.H. and Shaffer**, 1951. B.W., The teory of Plasticity Applied to a Problem of Machining, *ASME, J.Appl. Mech.*, **18**, 405-413.
- [20] **Oxley, P.L.B.**, 1961. A Strain Hardening Solution for the Shear-Angle in Orthogonal Metal Cutting, *J. Mech. Sci.*, **3**, 68-79.
- [21] **Jawahir, I. S., and Luttervelt, C. A.**, 1993. Recent Developments in Chip Control Research and Applications, *Ann. CIRP*, **24** (2), 659-685.
- [22] **Koenigsberger, F.**, 1964. *Design Principles of Metal Cutting Machine Tools*, Pergamon Press, Oxford.
- [23] **De Chifre H.**,1977. Study on Machining Prosses, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*,**22**, 231-236.
- [24] **Recht R. F.**, 1964. Catastrophic Thermoplastic Shear, *J. Appl. Mechanics*, **31**, 189-193.
- [25] **Komanduri R. and Shroeder T., Hazra j., von Turkovich B. F. and Flom D. G.**,1982. On the Catastrophic Shear Instability in High Speed Machining of an AISI 4340 Steel, *J. Eng. for Industry*, **104**, 121-31.
- [26] **Wright T. W. and Walter J. W.**, 1987. On Stress Collapse in Adiabatic Shear Bands, *J. Mech. Phys. Solids*, **35**, 701-20.
- [27] **HAMANN J. C., GROLLEAU V., LE MAITRE F., SANDERS B., PIERSON G.**, 1995. Observation and simulation of plastic flow phenomena in metal cutting. Application to the machinability improvement of free cutting steels, *European Mechanics Society, EUROMECH Colloquium 337*, Metz.
- [28] **Ceretti, E., Fallbohmer, P. Wu, W. T. and Altan, A.**, 1996. Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting, *J. Mat. Proc. Tech.*, **59**,169-180.
- [29] **LESKOVAR P., GRUM J.**, 1986, The metallurgical aspects of machining, *Annals of CIRP*, **35**, 537-550.

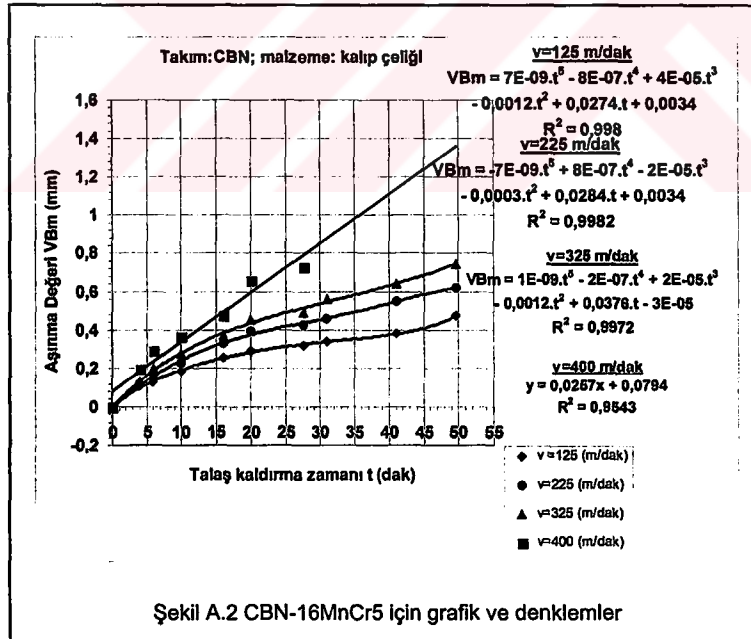
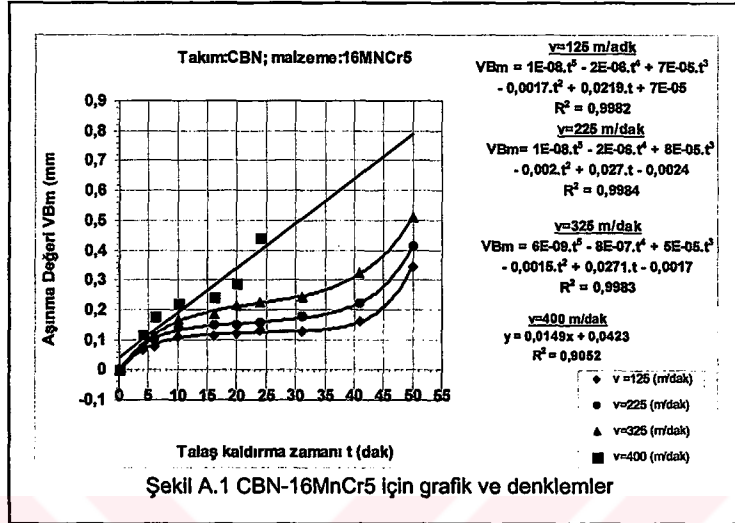
- [30] **Davies, M. A., and Chou, Y. and Evans, C. J., 1991.** On Chip Morphology Tool Wear and Cutting Mechanics in Finish Hard Turning", *Annals of the CIRP*, **45**, 77-82.
- [31] **Narutaki, N., and Yamane, Y., 1979,** Tool Wear and Cutting Temperature of CBN Tools in Machining of Hardened Steels, *Annals of CIRP*, **28**(1), 23-28.
- [32] **Novak, A and Wiklund, H., 1996.** On-Line Prediction of the Tool Life, *Annals of the CIRP*, **45**/1,93-96.
- [33] **Hartung, P. D. and Kramer, B. M., 1982.**Tool Wear in Machining", *Annals of the CIRP*, **31**, 75-79.
- [34] **Hooper, R. M., Shakip, J. I. And Brookes C. A., 1988.** Microstructure and Wear of TiC-Cubis BN Tools, *Materials Science and Engineering*, **105/106**, 429-33,
- [35] **JAWAHIR I. S., LI P. X., GOSH R., EXNER E. L., 1995.** A new parametric approach for the assessment of comprehensive tool wear in coated grooved tools, *Annals of the CIRP*, **44**/1, 49-54.
- [36] **Kocks, U. F., Argon, A. S. and Ashby, M. F., 1975.** Thermodynamics and Kinetics of Slip, *Progress in Metarials Science*, **19**, Pergamon Press, Oxford.
- [37] ****, 1997. The Biggest Breakthrough Since NC, *Modern Machine Shop*, August, 57-59.
- [38] ****, 1997. High Speed Machining or High rpm Machining, *MEN*, Jan/Feb, 49-51.
- [39] **Leiser, H.J., 1997.** Metalworking Production Technologies From Switzerland, *Swiss Tech India symposium, India* (adapted by *MEN revue*), 32-43.
- [40] **Trojahan, H.W., and Gladbach B., 1997.** Mit Hochdruck zum HSC, *Form+Werkzeug*, November, 12-17.
- [41] **Lembke D., 1997.** HSC zum Bohren, Frasen und Drehen, *VDI-Z*, August, 50-56.
- [42] **Beard T., 1997.** Making Machines Move Faster, *Modern Machine Shop*, August, 72-77.
- [43] **SchuetJ.T., 1996.** Advanced Controls For High Speed Milling, *Modern Machine Shop*, October, 64-75.
- [44] **Ebersbach, S.J., 1997.** Trocken, Hart und HSC Bearbeitung, *VDI-Z*, August, 30-35.

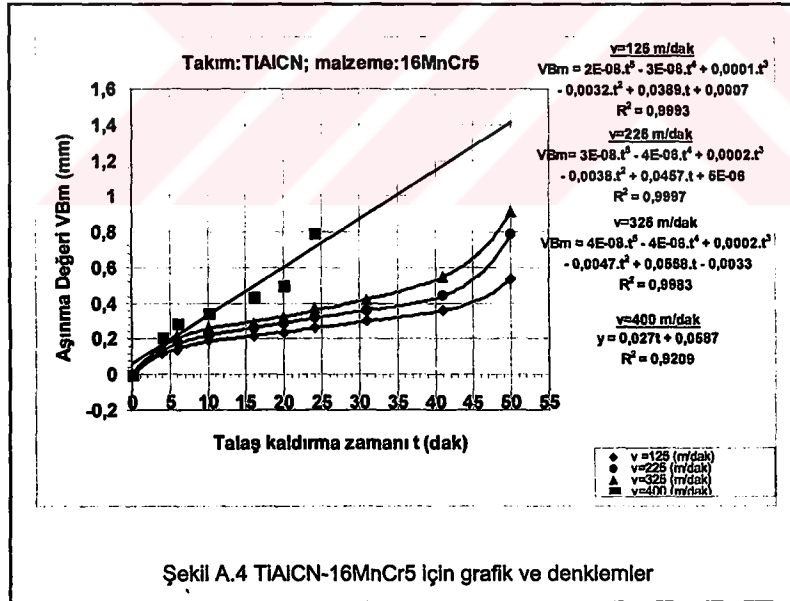
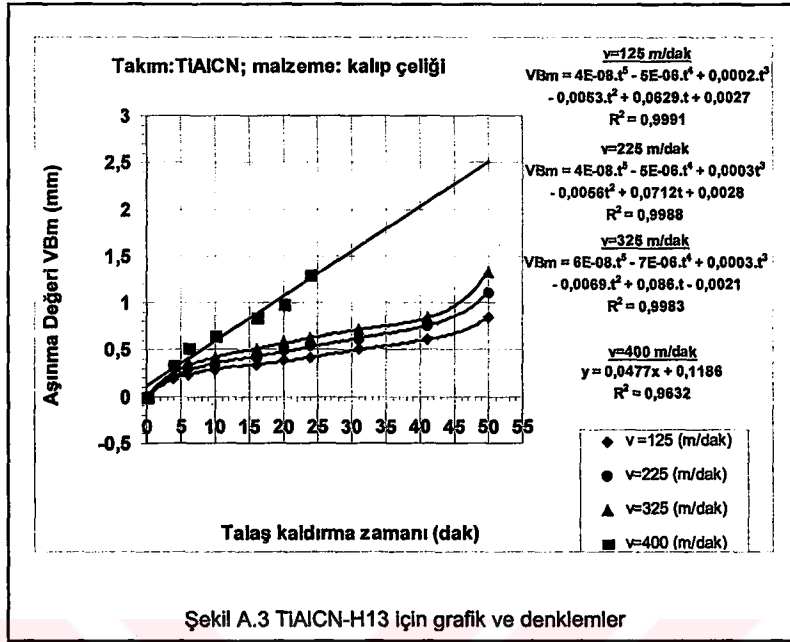
- [45] **Tönshoff, K. H., und Karpuschewski, B., und Blawit C.,** Hochgeschwindigkeitszerspanung, VDI-Z, 139, 26-34.
- [46] **Eisele, E.,** 1997. Frasspindel mit Integriertem Motor, Werkstatt und Betrieb, 130, 704-707.
- [47] **Beck W. H.,** 1997. The Latest Developments in High Speed Cutting, EPE, 21, 39-44.
- [48] **Hutchings T.,** 1996. Linear Guidance Systems, Evolution, 4, 25-27.
- [49] **Peters, K.,** 1991. Vom Servoverstärker zum Intelligente Antrieb, Antriebstechnik, 30, 30-36.
- [50] **Akkurt M.,** 1997. Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC) ve Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat (CAD-CAM) Sistemleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [51] **Kohlberg, G., and Friedrichsdorf V. E.,** combination of Modular Tooling Systems and High- Performances Cutting Materials Increases Profitability, EPE, 16, 54-58.
- [52] **Brandle H., and Yungblut f., and Schulz H.,** 1997. Dry Cutting and Hard Machining-Development of coated High-Performance Tools, Euro Tec, 293, 34-37.
- [53] **Maushart, J.,** 1997. Made for Milling, EPE, Ağustos, 32-36.
- [54] **Parz M., und Dittmar H.,** 1997. Effektiv Hartzerspanen mit Mischkeramik, Werkstatt und Betrieb, 130, 820-825.
- [55] ****, 1997. History and Background of Carbide Based Cutting Tools, MEN, Jan/Feb, 77-79.
- [56] **Chryssolouris G.,** 1982. Turning of Hardened Steels using CBN Tools, J. Appl. Metalworking, 2, 100-106.
- [57] **Tönshoff H. K., Wobker H-G., and Brandt D.,** 1995. Tribological Aspects of Hard Turning with Ceramic Tools, J. Soc. Tribol. & Lubric. Engineers, 163-168.
- [58] **Piper, T.,** 1994. HSK- The Connection of Future, Modern Machine Shop, December, 98-105.
- [59] **Pütz, F., und Zimmerman H.,** 1967. Einfluss und Veränderung der Winkel an Schraubig (spiral) und Schragverzahnten Fräswerkzeugen, Werkstattstechnik und Maschinenbau, 47, 128-132.

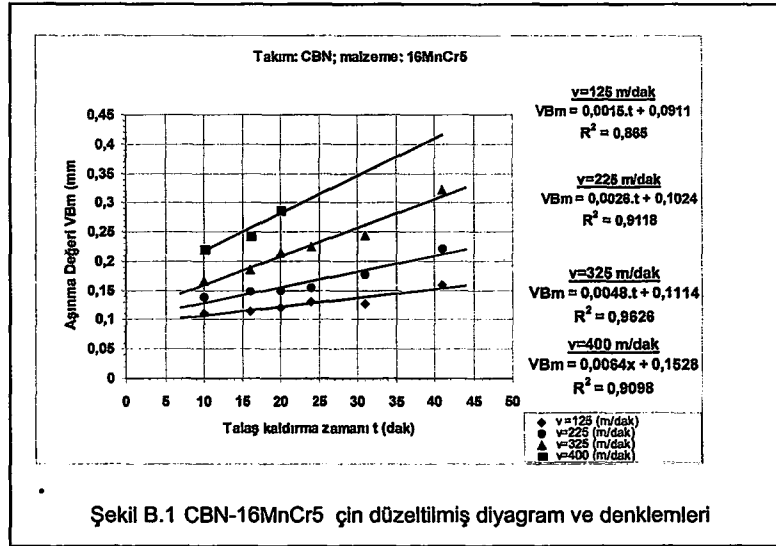
- [60] **Budak, E., and Altintas, Y., and Armarego, E. J. A.,** 1996. Prediction of Milling Force Coefficients from Orthogonal Cutting Data, *Trans. of ASME J. Eng. for Ind.*, **118**, 112-117.
- [61] **Altintas, Y., Lee, P.,** 1995. Combined Mechanics and Dynamics of Ball End Milling. ASME Publication MED, **2(1)**, 657-677.
- [62] **Armarego, E. J. A. and Whitfield, R. C.,** 1985, "Computer Based Modelling of Popular Machining Operations for Force and Power Predictions", *Annals of CIRP*, **34/1**, 65-69.
- [63] **Sim, C., and Yang M.,** 1993. The Prediction of the Cutting Force in Ball End Milling with a Flexible Cutter, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, **31/2**, 267-284.
- [64] **Altıntaş , Y. , and Lee, P.,** 1997. A General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills, *Annals of the CIRP*, **46/1**, 59-64.
- [65] **Hamann, J. C., and Grolleau V., and Le Maitre F.,** 1996. Machinability Improvement of Steels at High Cutting Speeds – Study of Tool/Work Material Interaction *Annals of the CIRP*, **45/1**, 87-92.
- [66] **Shaw, M. C. and G. J. DeSalvo,** 1970. On the Plastic Flow Beneath a Blunt Axisymmetric Indenter, *Trans. ASME, J. of Enng. for Ind.*, **46**, 480-494.
- [67] **Shaw M. C. and Vyas A.** 1993. Chip Formation in Machining of Hardened Steels, *CIRP Annals*, **42**, 29-32.
- [68] **Komanduri, R. and J. Larsen-Basse,** 1989. Tribology: The Cutting Edge, *ASME Mech. Eng.*, **111**, 74-79
- [69] **Berliner, E. M., Krainov, V. P.,** 1991. Analytical calculations of the temperature field and heat flows on the tool surface in metal cutting due to sliding friction, *Wear*, **143**, 379-395.
- [70] **Katigawa, T., Maekawa, K., Shirakashi, T., Usui, E.,** 1988. Analytical prediction of flank wear of carbide tools in turning plain carbon steels (part 1), *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg*, **22** , 263-269.
- [71] **Barlier, C., and Lescarier C.,** 1996. Continuous Flank Wear Measurement of Turning Tools by Integrated Microthermmocouple, *Annals of the CIRP*, **45/1**, 35-38.
- [72] **Kirkpatrick G.E.,** 1974. Introductory Statistic abd Probability for Engineering, Science and Technology, Printice-Hall, New Jersey.

- [73] **Colding, B. N.**, 1991. A tool temperature / tool life relationship covering a wide range of cutting data, *Annals of the CIRP*, **40/1**, 35-40.
- [74] **Novak, A., and Wiklund H.**, 1996. On-Line Prediction of the Tool Life, *Annals of the CIRP*, **45/1**, 93-96.
- [75] **Colwell, L.V.**, 1971. Methods for Sensing the Rate of Tool-Wear, *Annals of the CIRP*, **19/1**, 647-651.
- [76] **Dornfeld, D.A., and Rangwala, S.**, 1987. Integration of Sensors via Neural Networks for Detection of Tool Wear States, *Proc. of the ASME Winter Annual Meeting*, **25**, 109-120

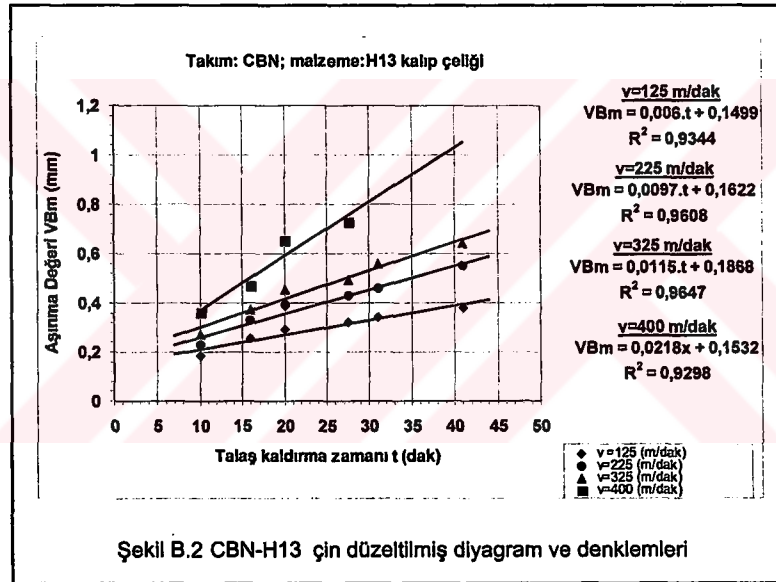




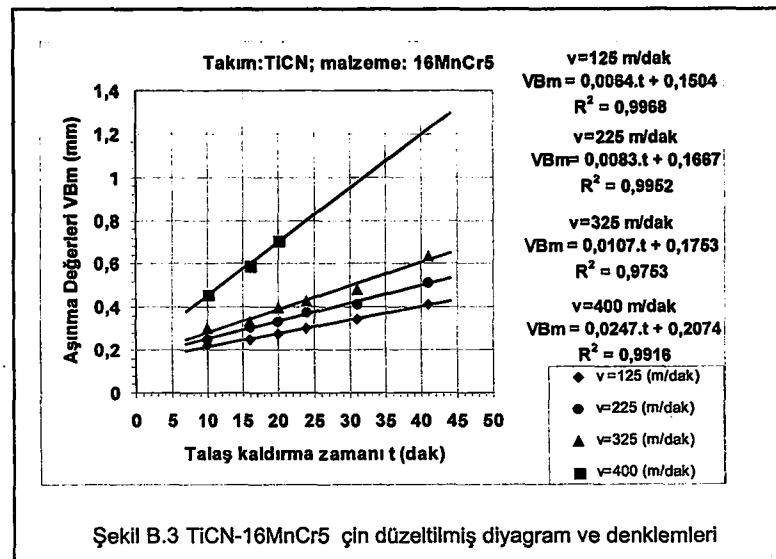




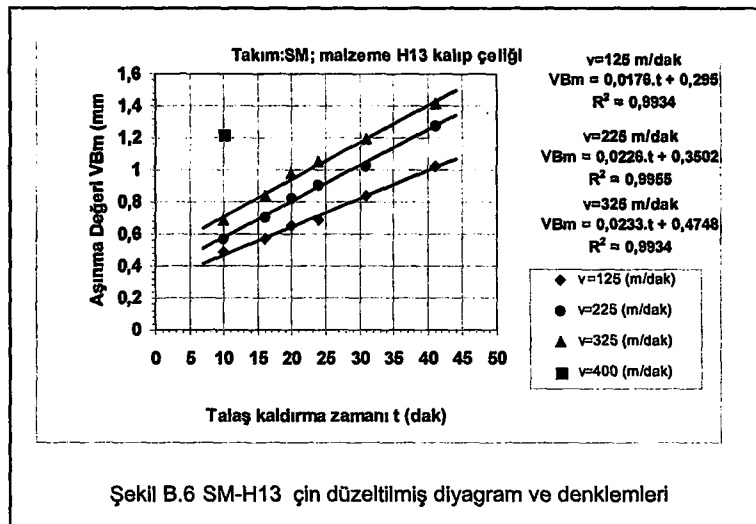
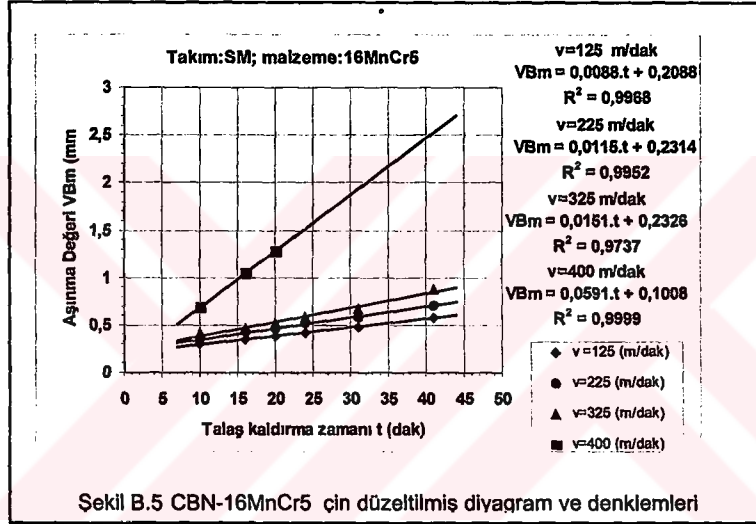
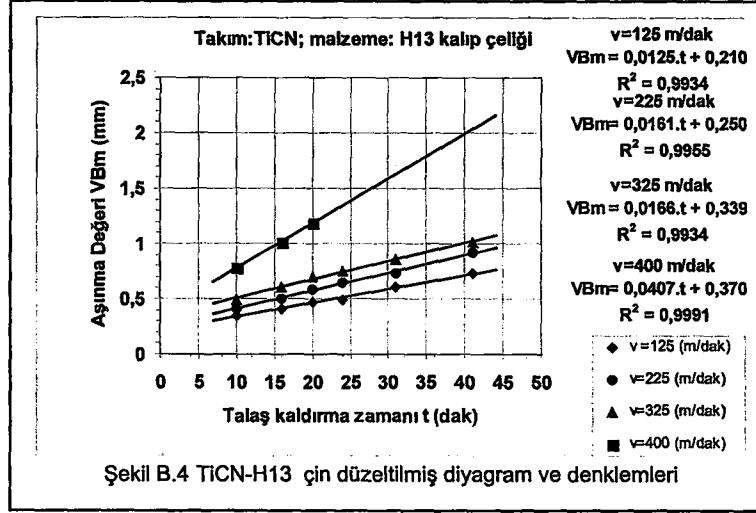
Şekil B.1 CBN-16MnCr5 çin düzeltilmiş diyagram ve denklemleri



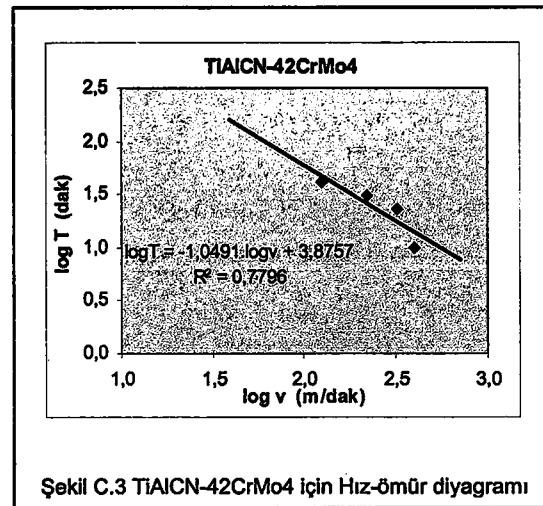
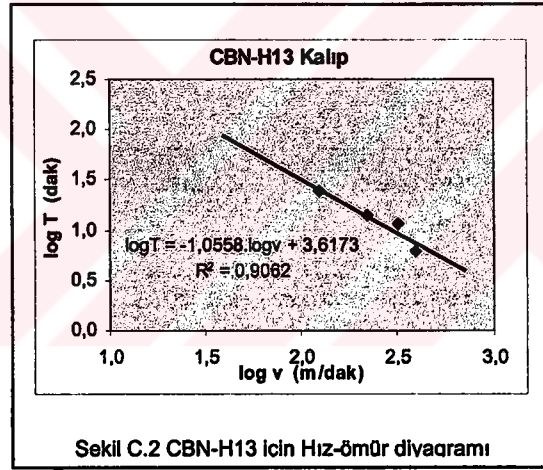
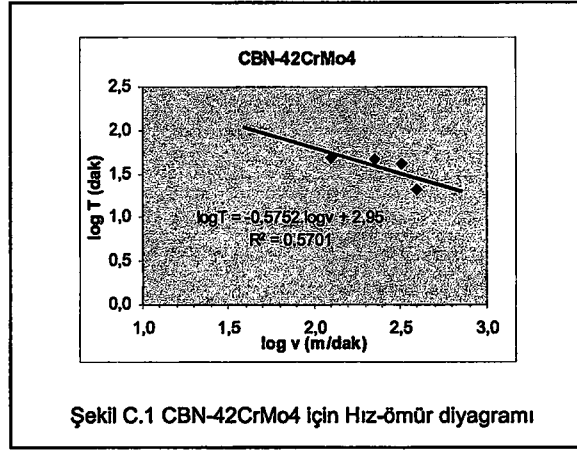
Şekil B.2 CBN-H13 çin düzeltilmiş diyagram ve denklemleri

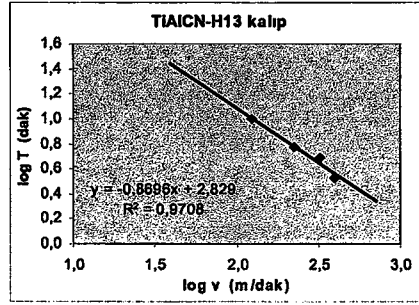


Şekil B.3 TiCN-16MnCr5 çin düzeltilmiş diyagram ve denklemleri

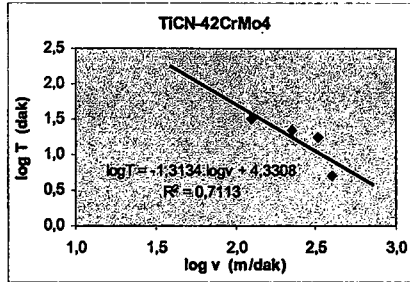


EK C

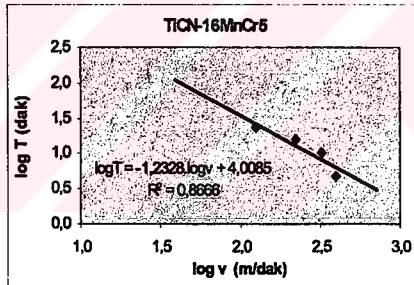




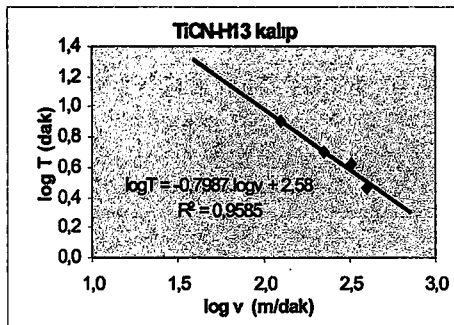
Şekil C.4 TIAICN-H13 için Hız-ömrü diyagramı



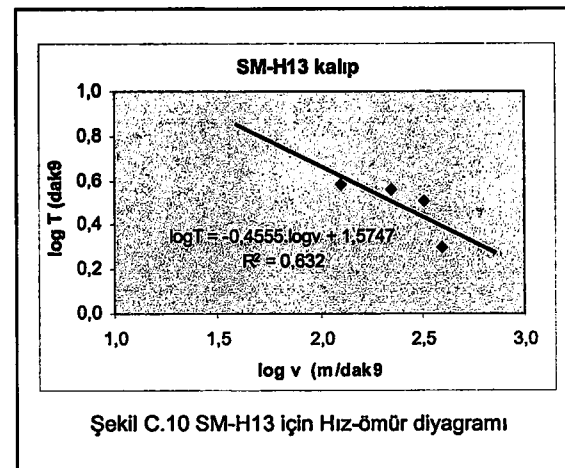
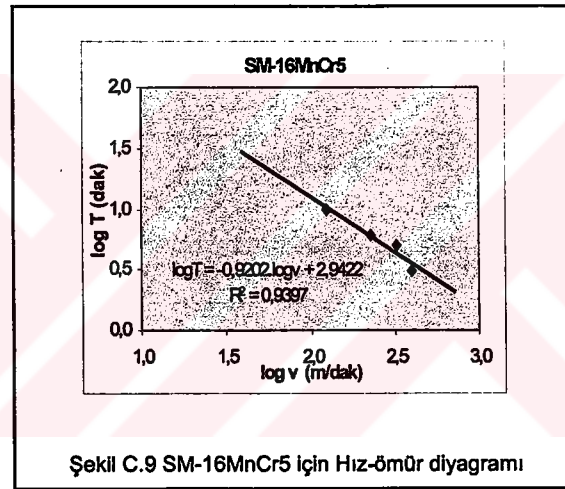
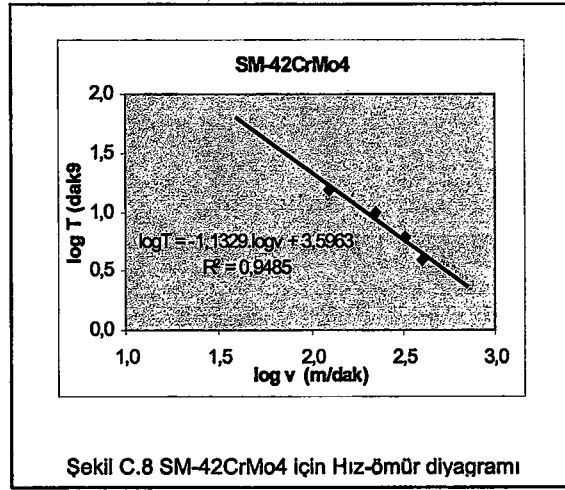
Şekil C.5 TICN-42CrMo4 için Hız-ömrü



Şekil C.6 TICN-16MnCr5 için Hız-ömrü diyagramı



Şekil C.7 TICN-H13 için Hız-ömrü diyagramı



ÖZGEÇMİŞ

Erdal Gamsız, 12.08.1966'da Almanya'nın Essen şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Lüleburgaz Ortaokulu ve Edirne Teknik Lisesi'nde tamamladı. 1983 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesine girdi.

İstanbul Teknik Üniversitesi'nden 1987 yılında, Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Bir yıllık bir çalışma aralığından sonra, 1988 – 1992 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimi tamamladı. Yüksek Lisans eğitimi sırasında CNC Takım Tezgahları ve CAD/CAM sistemleri konuları ile ilgili bir firmada servis ve uygulama mühendisi olarak çalıştı.

1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Doktora eğitimine başladı ve aynı yıl uzmanlaştığı konularla ilgili kendi firmasını kurdu. Halen SES3000 CNC LTD. ŞTİ.' inde Yönetim Kurulu Başkanı ve Genel Müdür olarak görev yapmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Anabilim Dalı, Konstrüksiyon ve İmalat Programında Doktora öğrenimine devam etmektedir. Erdal Gamsız evli, İngilizce bilmektedir.