

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106397

TALAŞLI İMALATTA KAYMA AÇISI ve ETKİLEYEN
FAKTÖRLER

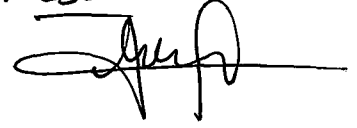
Mak. Müh. Yavuz Selim BODUR

F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

106397

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRLER



Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN



Doç. Dr. Selahattin Yumurtacı



İSTANBUL, 2001

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME.....	2
2.1 Talaşlı Şekillendirme Sistematiği	3
2.2 Talaşlı Şekillendirme Mekanikliği.....	5
3. KAYMA AÇISI.....	10
3.1 Kayma Açısı Teorileri	11
3.1.1 Ernst ve Merchant'ın Üst-Sınır Çözümü	14
3.1.2 Merchant'ın İkinci Çözümü.....	14
3.1.3 Loladze'nin Açık Bağıntısı.....	17
3.1.4 Lee ve Shaffer'in Alt Sınır Çözümü.....	18
3.1.5 Kronenberg'in Açık Bağıntısı.....	20
3.1.6 Oxley'in Küçük Kayma Bölgesi Modeli	21
3.1.7 Zorev'in Açık Bağıntısı	23
3.1.8 Kayma Bölgesi Teorisine Bağlı Olarak Loladze'nin Açık Bağıntısı	24
3.2 Kayma Açısını Etkileyen Faktörler	31
3.2.1 Takım Geometrisi	31
3.2.2 Sürtünme Katsayısı.....	35
3.2.2.1 Soğutma – Yağlama Sıvıları.....	38
3.2.2.2 Takım Malzemesi	42
3.2.2.3 Kesici Takım Aşınması.....	44
3.2.3 İş Parçası Yüzey Eğimi ve Kesici Takım Salgısı	46
3.2.4 İş Parçası Malzemesi	59
3.2.5 Talaş Kalınlık Oranı, Kesme Hızı, Takım İlerlemesi ve İvmeli Talaş Kaldırma ..	65
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	76
5. SONUÇLAR.....	85

KAYNAKLAR..... 88

ÖZGEÇMİŞ 89



SİMGE LİSTESİ

P_{ZT}	Toplam kesme kuvveti
F'	Sürtünme kuvveti
P_{ZP}	Kesici takımın burun yuvarlanmasından dolayı oluşan kuvvet
s	İlerleme (a_1 olarak da kullanılır)
t	Kesme derinliği (b_1 olarak da kullanılır)
τ_s	Kayma gerilmesi
η	Sürtünme açısı
γ_0	Talaş açısı
β	Kayma açısı
u	Kayma düzlemindeki hız bileşeni
K	Kayma gerilmesi sabit olduğunda, kayma gerilmesi olarak kullanılır
S	Birim alan
V_c	Kesme hızı
V_f	Talaş hızı
ζ	Kesme hızının talaş hızına oranı
P_n	Kayma düzlemine dik olan normal kuvvet
τ_0	Kayma gerilmesi başlangıç noktası
σ_n	Kayma düzlemindeki normal gerilme
k	Eğim
C	Kesme sabitesi
σ_x	X eksenindeki gerilme
σ_y	Y eksenindeki gerilme
σ_z	Z eksenindeki gerilme
$-K$	Koordinat düzlemindeki gerilme
ρ	Bir noktadaki hidrostatik gerilme
ψ	Referans ekseni ve kayma çizgisi teğetinin arasındaki açı
dS_1, dS_2	Elemental uzunluk
P_s	Kayma kuvveti
c	Sabit

c_1	Sabit
μ	Sürtünme katsayısı
ϕ	Kayma eğrisi teğeti ile talaş yüzeyi arasındaki açı
δ	İlerleme yönü ile kayma eğrisi teğeti arasındaki açı
b_2	Kesilecek talaş genişliği
b_3	Talaş genişliği
l_c	Takım- talaş arakesiti uzunluğu
t_f	Talaş kalınlığı
θ	Takım ucu büyüklüğüne bağlı açı
α_1	Serbest açı
β_k	Takımın kama açısı
n	İş parçası yüzey eğimi
δ_c	Talaş tepe açısı
β_0	İş parçası yüzey eğimi sıfırken oluşan kayma açısı
\dot{r}	Kayma gerinmesi hızı
f	İlerleme hızı
\ddot{r}	Kayma gerinmesi ivmelenmesi
r_c	Talaş kalınlığı oranı
v_a	Hız bileşeni
v_p	Hız bileşeni
a_1	Talaş genişliği
b_1	Talaş kalınlığı

KISALTMA LİSTESİ

H.S.S High Speed Steel (Yüksek hız çeliği)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tornalama işlemi	2
Şekil 2.2 Tornalama: a. Boyuna tornalama, b. Alın tornalama, c. İç tornalama	3
Şekil 2.3 Frezeleme: a. Silindirik frezeleme b. Alın frezeleme c. Diş açma	4
Şekil 2.4 Delme: a. Delik delme b. Raybalama c. Havşa başı açma	4
Şekil 2.5 Vargelleme- Planyalama: a. Vargelleme b. Planyalama c. Broşlama	4
Şekil 2.6 Taşlama yöntemleri: a. Silindirik taşlama b. İç taşlama c. Satıh taşlama	5
Şekil 2.7 Ortogonal takım modeli	6
Şekil 2.8 Ortogonal talaş kaldırma	6
Şekil 2.9 Takım ve kayma düzlemine gelen kuvvetler	7
Şekil 2.10 Kuvvet diyagramı	8
Şekil 2.11 Oblik (eğik) kesme modeli	9
Şekil 3.1 Kayma düzlemi ve açısı	10
Şekil 3.2 Kesme hız diyagramı	11
Şekil 3.3 Birim elementin talaşa dönüşmesi	13
Şekil 3.4 $\tau_s - \sigma_n$ Arasındaki bağıntı	15
Şekil 3.5 Kayma bölgesindeki kayma çizgileri	19
Şekil 3.6 Kayma, sürtünme ve talaş açıları arasındaki ilişki	20
Şekil 3.7 Kayma bölgesindeki kayma çizgisi alanı	21
Şekil 3.8 Mohr dairesindeki gerilmeler	22
Şekil 3.9 Kayma bölgesindeki kayma çizgi tekniği modeli	24
Şekil 3.10 Sürtünmenin açılara etkisi	28
Şekil 3.11 Açı bağıntıları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması	29
Şekil 3.12 Torna kalemı	31
Şekil 3.13 Torna kaleminde takım referans sistemi	32
Şekil 3.14 Kama ölçme düzlemindeki açılar	33
Şekil 3.15 Talaş açısının kayma açısına etkisi (İnternet)	34
Şekil 3.16 Sabit talaş açısında sürtünme katsayısının kayma açısına etkisi	36
Şekil 3.17 Sürtünme katsayısı bulma düzeneği	37
Şekil 3.18 Bazı maddelerin sürtünme katsayısına etkisi	40
Şekil 3.19 Talaşlı işlemde kayma düzlemi	41
Şekil 3.20 Uzun kayma düzlemi ve küçük kayma açısı	41
Şekil 3.21 Kısa kayma düzlemi ve büyük kayma açısı	41
Şekil 3.22 Takım aşınmasının geometrisi	44

Şekil 3.23 Talaş kaldırmada aşınma şekilleri	45
Şekil 3.24 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklinde hareketi	46
Şekil 3.25 Dalgalı yüzeyli iş parçasında kesme işlemi.....	47
Şekil 3.26 İş parçasının yüzey eğim durumu.....	47
Şekil 3.27 Kayma açısının iş parçası yüzey eğimine ve talaş tepe açısına etkisi	48
Şekil 3.28 Farklı talaş açılarında yüzey eğiminin kayma açısına etkisi	50
Şekil 3.29 Farklı kesme hızlarında kayma açısının değişimi	50
Şekil 3.30 Kayma açısının c' 'ne etkisi	51
Şekil 3.31 Talaş oluşumunda kayma bölgesi deformasyonu.....	52
Şekil 3.32 Kayma düzlemindeki gerilim durumu: a. Pozitif eğim b. Negatif eğim	52
Şekil 3.33 Deney seti	53
Şekil 3.34 Kayma açısının değişimi: 1. sütunda $n = +5^{\circ}$, 2. sütunda $n = -5^{\circ}$, $\gamma_0 = 20^{\circ}$	54
Şekil 3.35 İş parçasının yüzey eğiminin pozitiften negatife geçmesi esnasında oluşan kırık talaş formun başlaması	52
Şekil 3.36 Farklı yüzey eğimlerinde yapılan kesme işleminde oluşan talaş formu ($\gamma_0 = 10^{\circ}$ ve yağlayıcı CCl_4): a. $n = +5^{\circ}$, b. $n = -5^{\circ}$ ve oluşan kırık talaş formu, c. $n = -5^{\circ}$ ve sabit olmayan kesme şartı	55
Şekil 3.37 Eğimli yüzeyli iş parçasından talaş kaldırma ($\gamma_0 = 30^{\circ}$ ve CCl_4 kesme sıvısı): a. $n = 0^{\circ}$, b. $n = +5^{\circ}$, c. $n = -5^{\circ}$	55
Şekil 3.38 Eğimli yüzeyde talaş kaldırma işlemi: a. $\gamma_0 = 25^{\circ}$ ve yüzey eğimi $n = +5^{\circ}$, kayma açısı $\beta = 42^{\circ}$, b. $\gamma_0 = 15^{\circ}$ ve yüzey eğimi $n = -5^{\circ}$, kayma açısı $\beta = 27.5^{\circ}$.56	
Şekil 3.39 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklindeki kesme hareketi, efektif talaş açısı $\gamma_0 = 20^{\circ}$ ve kesme sıvısı CCl_4 ; a. Pozitif eğim, b. Negatif eğim.....	57
Şekil 3.40 Kayma açısı ve iş parçası yüzey eğimi arasındaki ilişki	58
Şekil 3.41 Kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki	61
Şekil 3.42 Alüminyum ve prinç malzemelerine ait kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki	61
Şekil 3.43 $\cot \beta - l_c / t$ arasındaki ilişki.....	62
Şekil 3.44 $\cot \beta - l_c / t$ ilişkisi	63
Şekil 3.45 Kayma açısı, kesme hızı ve kesme derinliği arasındaki ilişki.....	63
Şekil 3.46 $\beta - 1/\sqrt{V_c t}$ arasındaki ilişki	64
Şekil 3.47 İş parçası malzemesi sertliği ve kayma açısı arasındaki ilişki	65

Şekil 3.48 İş parçası a. İvmeli konik tornalama b. İvmeli yüzey tornalama	69
Şekil 3.49 İş parçası devrinin ve ilerlemenin, ivmeli konik tornalamada kayma açısına etkisi a. Konik açısı 3 derece, $V_c=0.499$ (m/s) b. Konik açısı 4 derece, $V_c=0.399$ (m/s) ..	71
Şekil 3.50 Farklı iş parçası devir sayıları için, ilerleme ile kayma açısı arasındaki ilişki a. Konik açısı 4 derece, $V_c=0.399$ (m/s) b. Konik açısı 5 derece, $V_c=0.523$ (m/s) ..	71
Şekil 3.51 Farklı devir sayıları için, konik açısının kayma açısına etkisi a. İlerleme 0.113 (mm/devir), $V_c=0.399$ (m/s) b. İlerleme 0.275 (mm/devir), $V_c=0.423$ (m/s)	72
Şekil 3.52 İvmeli yüzey tornalama işleminde, kayma açısı ile iş parçası devri arasındaki ilişki a. Kesme hızı 0.447 (m/s) b. Kesme hızı 0.471 (m/s)	73
Şekil 3.53 İvmeli yüzey tornalama işleminde, kayma açısı ile ilerleme arasındaki ilişki a. Kesme hızı 0.471 (m/s) b. Kesme hızı 0.499 (m/s)	73
Şekil 3.54 Gerinim ivmelenmesinin kayma açısına etkisi a. İvmeli yüzey tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), ilerleme 0.26 (mm/devir) b. İvmeli konik tornalama; iş parçası devir sayısı 320 /devir/dakika), ilerleme 0.15 (mm/devir), konik açısı 5°	74
Şekil 3.55 Kesme hızının kayma açısına etkisi a. İvmeli yüzey tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), ilerleme 0.26 (mm/devir) b. İvmeli konik tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), konik açısı 5° ve ilerleme 0.15 (mm/devir)	75
Şekil 3.56 Kesme hızının kayma açısına etkisi a. İş parçası devir sayısı 160(devir/dakika), konik açısı 3° ve ilerleme 0.25 (mm/dakika) b. İş parçası devir sayısı 400 (devir/dakika), ilerleme 0.20 (mm/devir) ve konik açısı 4°	75
Şekil 4.1 Planya tezgahının üç kademesindeki hız diyagramı [<i>Karaca,1987</i>]	77
Şekil 4.2 Deney seti	78
Şekil 4.3 Kesme derinliği 0.3 mm, talaş açısı 15°	78
Şekil 4.4 Kesme derinliği 0.6 mm, talaş açısı 15°	79
Şekil 4.5 Kesme derinliği 0.9 mm, talaş açısı 15°	79
Şekil 4.6 Ölçülen ve hesaplanan kayma açılarının karşılaştırılması, talaş açısı 15 derece	81
Şekil 4.7 Kesme derinliği 0.3 mm, talaş açısı 30°	81
Şekil 4.8 Kesme derinliği 0.6 mm, talaş açısı 30°	82
Şekil 4.9 Kesme derinliği 0.9 mm, talaş açısı 30°	82
Şekil 4.10 Ölçülen ve hesaplanan kayma açılarının karşılaştırılması, talaş açısı 30 derece	84
Şekil 4.11 Deney sonuçlarına göre kayma açısı ve talaş açısı ilişkisi	84

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Malzemeye bağlı c sabiti.....	16
Çizelge 3.2 Farklı ψ değerleri için elde edilen açı bağıntıları	24
Çizelge 3.3 Açı bağıntılarının gelişimi	30
Çizelge 3.4 Farklı talaş açılarında kayma açıları	35
Çizelge 3.5 Shaw'ın deney koşulları.....	37
Çizelge 3.6 Deneyde kullanılan yağlayıcıların sürtünme katsayısı.....	38
Çizelge 3.7 Eğimli iş parçası kesme sonuçları.....	56
Çizelge 3.8 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklinde hareketiyle yapılan kesme işleminden elde edilen sonuçlar	58
Çizelge 3.9 Kesme koşulları.....	60
Çizelge 3.10 İş parçası malzeme sertlikleri.....	60
Çizelge 3.11 İvmeli konik tornalamada elde edilen kayma açıları	67
Çizelge 3.12 İvmeli konik tornalamada elde edilen kayma açıları	68
Çizelge 3.13 Kullanılan parametreler.....	68
Çizelge 3.14 İvmeli talaş kaldırma için elde edilen denklemlerin sabit parametreleri	70
Çizelge 3.15 İvmeli talaş kaldırma deneylerinde (x) değerleri	70
Çizelge 4.1 Deney koşulları	76
Çizelge 4.2 Talaş açısı, kesme derinliği ve kayma açısı ilişkisi	80
Çizelge 4.3 Talaş açısı, kesme derinliği ve kayma açısı ilişkisi	83

ÖNSÖZ

İmalat yöntemlerinin en önemlilerinden birisi de talaşlı imalattır. Bu yüzden, talaşlı imalatta ürün kalitesini, enerji sarfiyatını ve verimi etkileyen durumların incelenmesi çok önemlidir. Bunları etkileyen çok sayıda parametreler vardır. Fakat, tamamını bir tez içerisinde incelemek mümkün değildir. Bu parametrelerin en önemlilerinden biri olan kayma açısı incelenmiştir. Kayma açısı ve onu etkileyen faktörler birlikte ele alındı. Anlatımda, teorik ve deneysel çalışmalardan yararlanıldı ve imkan dahilinde, kayma açısını etkileyen bazı faktörler, deneysel çalışmalar neticesinde saptanmaya çalışıldı. Kayma açısı ve onu etkileyen faktörler incelenirken, talaşlı imalatla ilgili bir çok konu da özet halinde incelenmiş oldu.

Yavuz Selim BODUR



ÖZET

Talaşlı imalatta, işlenen iş parçasının yüzey kalitesini, işlemin verimliliğini ve kesme kuvvetlerini en fazla etkileyen parametrelerden biriside kayma açısıdır. Bu çalışmada, çeşitli araştırmacıların, kayma açısı ve kayma açısını etkileyen faktörler (talaş açısı, sürtünme katsayısı, kesme sıvıları, takım malzemesi, takım aşınması, iş parçası yüzey eğimi, talaş kalınlığı oranı, salgılı hareket eden takım ile kesme işlemi, kesme hızı, takım ilerlemesi, iş parçası devri, kesme derinliği, ivmeli talaş kaldırma, iş parçası malzemesi) üzerinde yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır.

Ayrıca, talaş açısının ve kesme derinliğinin kayma açısına etkilerini saptamak için, deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bulunan deneysel sonuçlar, teorik çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kayma açısı, metallerin talaşlı işlenmesi.



ABSTRACT

Shear angle is one of the most effecting paramaters on the quality of machined surface of workpiece, the productivity of process and cutting forces, in metal cutting. In this study, various theoretical and practical studies proposed before on shear angle and the effective factors such as, rake angle, coefficient of friction, cutting lubricant, tool material, tool wear, work surface slope, chip thickness ratio, machine tool chatter, cutting speed, feed rate, revolutions per minute, depth of cut, accelerated cutting, work material are presented in detail.

Additionally, an experimental study has been realised to determine the effects of rake angle and depth of cut on shear angle. Achieved practical results have been compared with theoretical studies.

Key Words: Shear angle, metal cutting.



1. GİRİŞ

Talaş kaldırma tekniğinin genel amacı: iş parçasına istenilen şekli vermek, parça üzerindeki hatalı ve istenmeyen kısımları almak, ya da istenilen toleransta bir yüzey oluşturmaktır. Bu amaçlara ulaşmak için, uygulanan yöntemler, birbirinden farklı teknolojik özellikler gösterir. Takım yapısı bakımından da işleme usulleri kendilerine göre özel şartlar içinde meydana gelir. Talaş kaldırarak şekil verme işlemleri esnasında, iş parçası moleküllerinde kohezyon kuvvetlerinin yenilmesi gerekir. Talaş kaldırma işleminde uygulanan kesme kuvvetleri, çeşitli gerilmelere ve plastik şekil değiştirmelere sebep olur.

Metal eşya sanayiinde, otomotiv sanayiinde ve genel metal işleme sanayiinde, makine-tezgah ve teçhizat üretiminde, talaş kaldırarak şekil verme, bütün imalat işlemlerinin vazgeçilmez unsurudur. Günümüzde imal edilen mamullerin %75'i , metal malzemeleri talaş kaldırarak şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu mamulleri imal etmek için saptanan maliyetin %25'i , bu işlemlerde kullanılan takım tezgahlarının maliyetidir [Özgürler,2001].

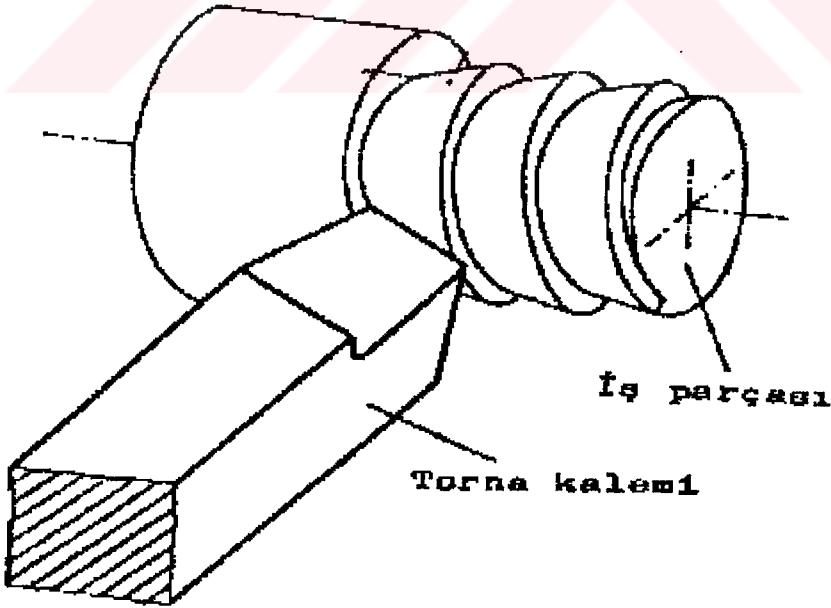
Talaşlı imalat metoduyla işlenen parçadan kaldırılan malzeme tabakasının talaşa dönüşmesi, kesme bölgesi denilen bir bölgede oluşmaktadır. Ancak konunun daha kolay anlaşılması amacıyla bu bölge yerine, kayma düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır. Talaşın iş parçası üzerinden ayrıldığı yüzeye, kayma düzlemi denir. Kayma düzlemi ile yatay düzlem arasında oluşan açıya kayma açısı denir. Kayma açısı ve kayma açısını etkileyen faktörler, ilerleyen sayfalarda detaylı olarak anlatılacaktır.

2. TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME

İş parçasına istenilen yüzey ve geometrik şekli vermek için, talaş kaldırılır. İş parçasından talaş kaldırabilmek için, kesici takıma ve yeterli kesme kuvvetine ihtiyaç vardır. Bütün katı maddelerden, hatta kesici takımlardan, plastiklerden ve toprak esaslı maddelerden talaş kaldırılabilir. Torna kalemiyle iş parçasından talaş kaldırma işlemi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

İş parçasının ölçü ve özelliklerine göre talaşta meydana gelen küçük deformasyon, büyük bir enerji dönüşümüne neden olur. Örneğin, talaş oluşurken ve iş parçasında yeni formlar meydana gelirken, kesici takımı tahrik eden motorun enerjisinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşür.

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar, iş parçası malzemesine, sertliğine, kesme hızına ve kesme koşullarına bağlıdır. Kesici takımlar çok çeşitli tiplere ve malzemelere sahiptir. Örneğin, H.S.S torna kalemi, sert madenler ve kesme seramikleri. Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlar kadar, kullanılan takım ve tezgahlarda önemlidir. Örneğin; ölçü hassasiyeti bozulmuş torna tezgahı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımda titreşimler meydana getirir. Bu titreşimler, kesilmiş olan yüzeyin ölçü ve yüzey hassasiyetini bozar. Aynı zamanda, kesici takımın darbeli çalışmasına sebep olacağından, takım ömrünü azaltır. Takım tezgahı yatakları, dinamik yük altında çalıştığı için, ölçü ve hassasiyetini kaybeder [Akkurt,1998].



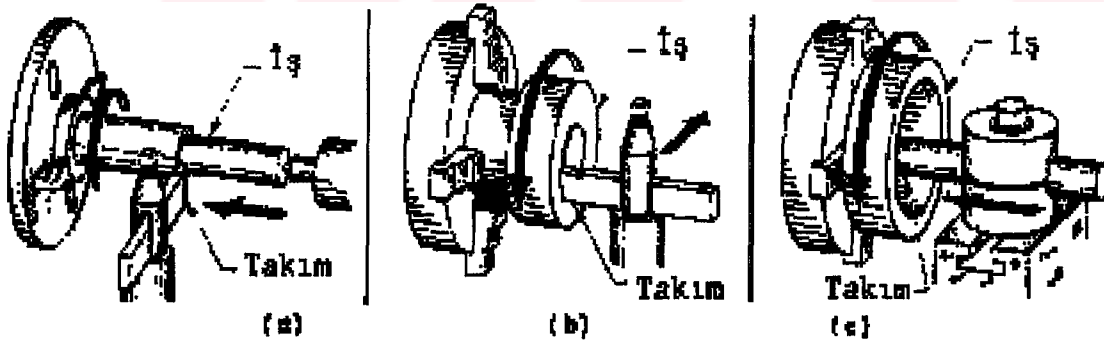
Şekil 2.1 Tornalama işlemi

2.1 Talaşlı Şekillendirme Sistematiği

Talaş kaldırma, ucu keskin bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. İş parçasından kaldırılan malzemeye talaş denir. Talaş kaldırma işleminin sistematiği, takım ile parça arasındaki bağıl hareketlere, takım ucunun geometrisine ve takımların kesici uç sayılarına göre yapılabilir.

Takım ile parça arasında kesme, ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç türlü hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareketler ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir. Bu bakımdan; tornalama, frezeleme, delme, planyalama ve taşlama olmak üzere beş talaş kaldırma yöntemleri vardır. Ayrıca bu yöntemlere dayanan vida açma, diş açma ve broşlama gibi türemiş yöntemler de vardır. Talaş kaldırma işlemlerinde, takım ile parça arasındaki hareketler, aşağıda anlatılmıştır.

Tornalama işleminde, kesme hareketi parçanın dönmesi ile elde edilir. Takım, ilerleme ve yardımcı hareketleri gerçekleştirir. Bu yöntemde iş parçası boyunca tornalama, alın tornalama ve iç tornalama gibi çeşitli talaş kaldırma metotları vardır (Şekil 2.2).



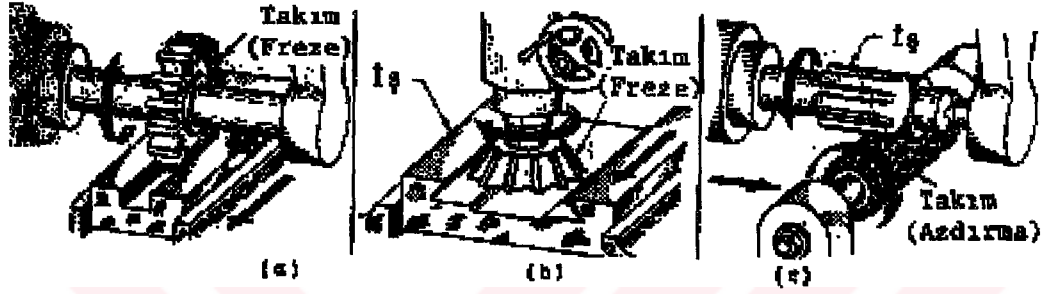
Şekil 2.2 Tornalama: a. Boyuna tornalama, b. Alın tornalama, c. İç tornalama

Frezeleme işleminde, kesme hareketi takımın dönmesi ile meydana gelir. Parça ilerleme hareketi tapar. Yardımcı hareketler ise, parça veya takım tarafından yapılabilir. Bu yöntemde çevresel frezeleme, alın frezeleme, dişli açma ve azdırma gibi işlemler yapılabilir (Şekil 2.3).

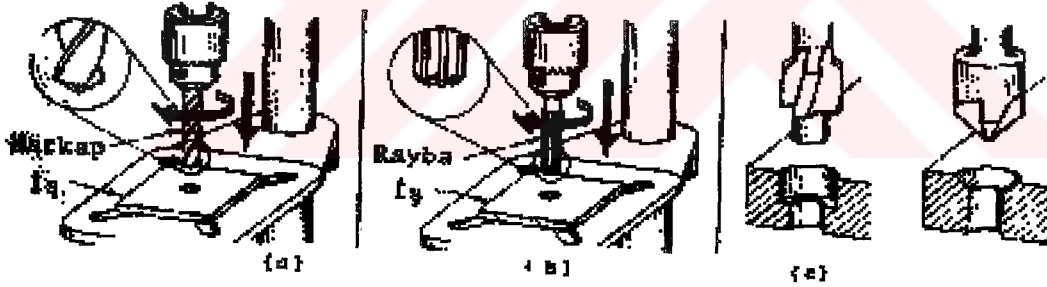
Delme işleminde, kesme ve ilerleme hareketi takımın dönme ve doğrusal hareketi ile oluşurken, parça sabit kalır. Bu yöntem delik delme, raybalama ve havşa başı açma gibi

çeşitlere sahiptir (Şekil 2.4).

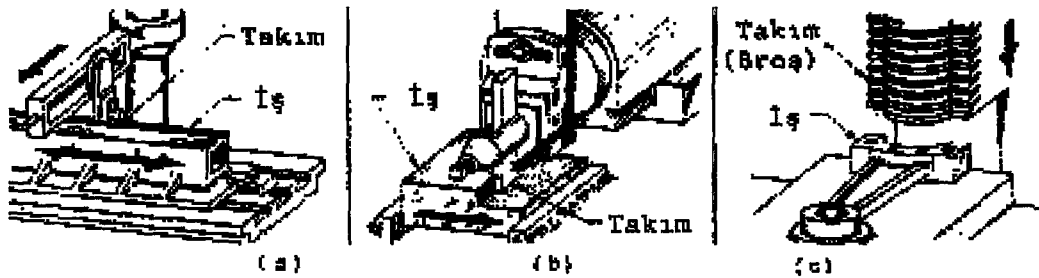
Planyalama-Vargelleme işlemlerinde kesme doğrusal bir hareket ile gerçekleşir. Fakat vargelleme işleminde kesme parçanın doğrusal hareketi, planyalama işleminde ise kesme takımının doğrusal hareketi ile gerçekleşir. Vargellemede takım, kesme hareketi esnasında sabit kalır ve kesme işlemi bittikten sonra, ilerleme hareketi yapar. Yardımcı hareket takım tarafından yapılır. Planyalamada kesme hareketi sırasında parça sabit kalır ve kesme işlemi bittikten sonra ilerleme hareketi yapar. Yardımcı hareketler ise takım tarafından yapılır (Şekil 2.5).



Şekil 2.3 Frezeleme: a. Silindirik frezeleme b. Alın frezeleme c. Diş açma



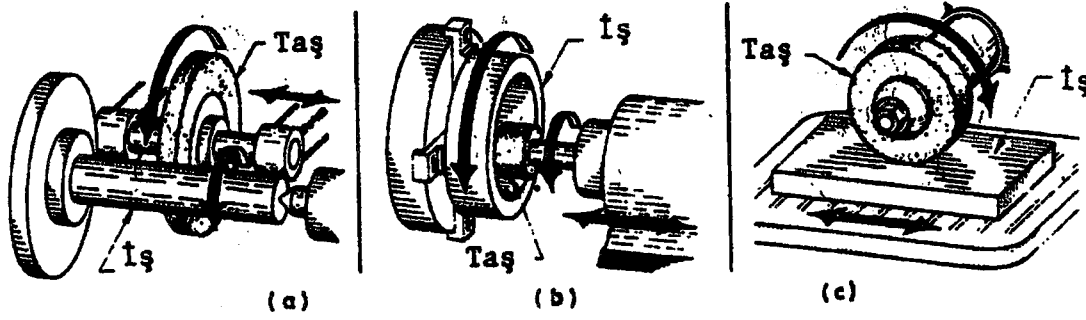
Şekil 2.4 Delme: a. Delik delme b. Raybalama c. Havşa başı açma



Şekil 2.5 Vargelleme-Planyalama: a. Vargelleme b. Planyalama c. Broşlama

Taşılama işleminde kesme hareketi, takımın (taşın) dönmesi ile gerçekleşir. İlerleme ve yardımcı hareketleri, takım veya parça, veya her ikisi tarafından yapılabilir. Bu yöntemle silindirik taşılama, iç taşılama ve satıh taşılama gibi işlemler yapılabilir (Şekil 2.6).

Ayrıca delikler, kama kanalları ve profilli yüzeyler, çok verimli olan broşlama yöntemi ile açılabilir. Bu yöntemde kesme hareketini yapan takımın hareketi doğrusaldır. İş parçasının yüzey kalitesini artırmak için, honlama ve lebleme gibi talaş kaldırma işlemleri kullanılır [Akkurt,1998].



Şekil 2.6 Taşılama yöntemleri: a. Silindirik taşılama b. İç taşılama c. Satıh taşılama

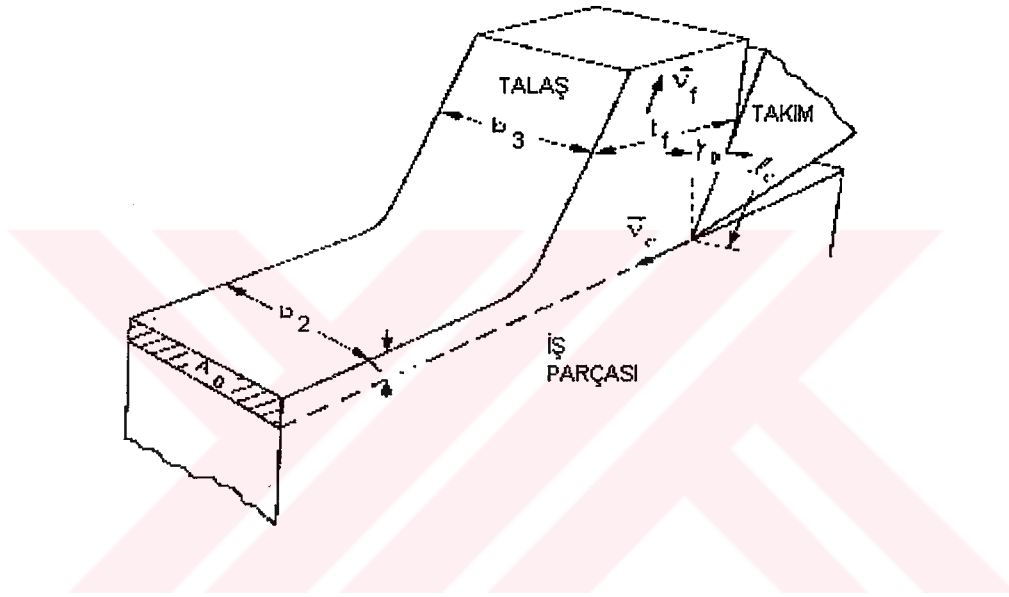
2.2 Talaşlı Şekillendirme Mekanikliği

Fiziksel bakımdan talaş kaldırma olayı incelendiğinde, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, talaş kaldırılan iş parçasının sertleşmesi, kesici takımın aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık fiziksel durumların olduğu görülmektedir.

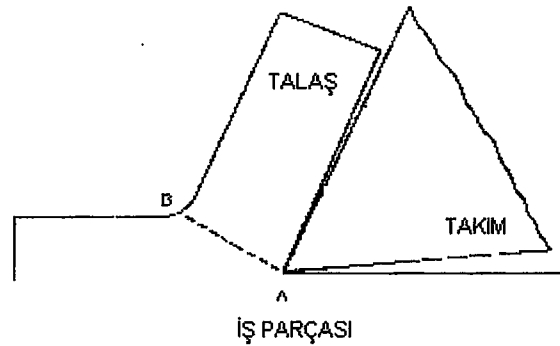
İş parçası üzerinden belirli bir malzeme tabakasının kaldırılabilmesi için, kesici takımın parçaya nüfuz etmesi gerekir. Bunun için, kesici takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve kesici takımın sertliğinin parça sertliğinden daha fazla olması gerekmektedir. Ayrıca kesici takım ucunun kama şeklinde olması, işlemi kolaylaştırmak için önemlidir. Talaş kaldırma mekanizmasını incelemek için kama şeklinde bir kesme ucundan meydana gelen ve Şekil 2.7'de gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Bu şekilde talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme işlemi denir. Kesici takımın bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığını ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka, talaş şeklinde

belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır (Şekil 2.8). Talaşın iş parçasından ayrılma şekli, parça malzeme özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde meydana gelir. Bu nedenle değişik talaş şekilleri ortaya çıkar.

Talaş kaldırma esnasında, iş parçasından talaşın ayrılması mekanik bir kopmadır. Burada oluşan kopma makaslama şeklinde gerçekleşir. Bilindiği gibi kopma genellikle sünek ve gevrek olmak üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme kopmadan önce büyük plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denilmektedir. Gevrek kopmada, kopmadan önce çok az plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu malzemelere, gevrek malzemeler denilmektedir.



Şekil 2.7 Ortogonal takım modeli

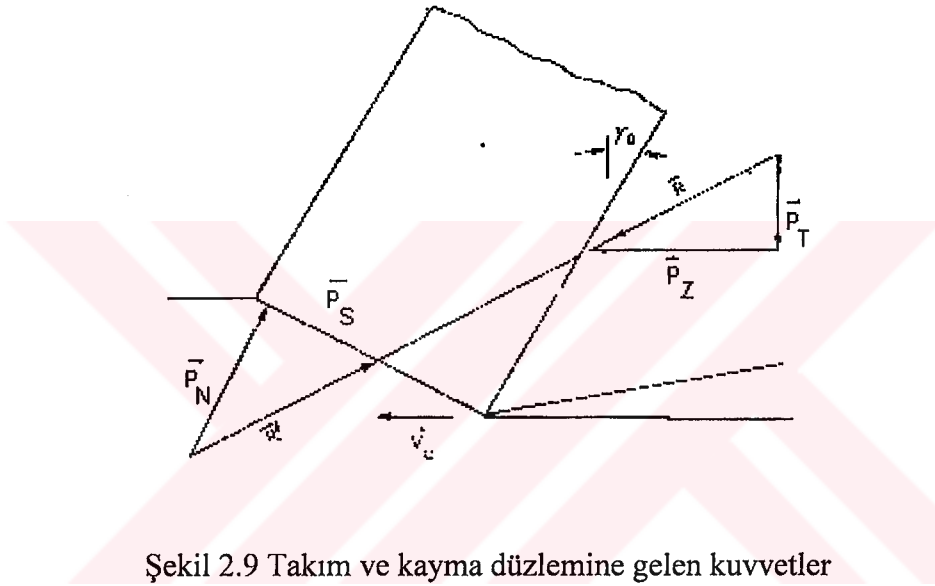


Şekil 2.8 Ortogonal talaş kaldırma

Sünek malzemelerde takımın kesme ağzının önünde, bir plastik şekil değiştirme bölgesi

meydana gelmekte ve bu bölgede malzeme talaş şeklinde sürekli olarak iş parçasından ayrılmakta, ancak bazen talaş akışında kopmalar meydana gelmektedir. Konuyu teorik açıdan basitleştirmek için talaşın ayrılması bir bölge içinde değil, Şekil 2.8’de gösterildiği gibi kayma düzlemi denilen (A-B çizgisi) bir düzlemde meydana geldiği kabul edilir. Gevrek malzemenin kesilmesinde, malzeme talaş şeklinde hem iş parçasından ayrılmakta, hem de talaş akışından kopmakta yani kesintili bir talaş tipi oluşmaktadır [Akkurt,1998].

Talaşlı şekillendirmede meydana gelen kesme kuvvetlerinin bulunması, önemli bir konudur. Kesme işlemini gerçekleştirmek için kesici takıma, kayma düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti (R) denilen bir kuvvet uygulanır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Takım ve kayma düzlemine gelen kuvvetler

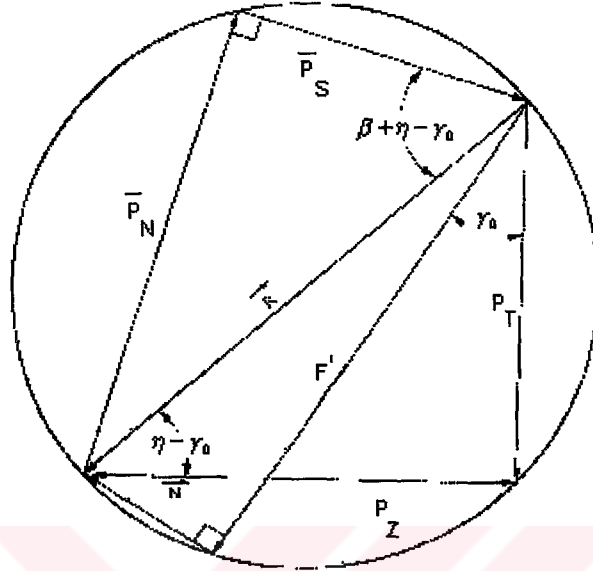
Kayma düzlemindeki kuvvetler kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Kayma düzlemi boyunca yayılmış olan bu kuvvetler, Merchant’ın kabulüne göre takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet ile gösterilebilir (Şekil 2.10). bu durumda, takım ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti R olursa, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden meydana geldiği düşünülebilir: kesme yönünde kesme kuvveti (P_Z) ve bu yöne dik yönde radyal kuvvet (P_T); kayma düzleminde makaslama kuvveti (P_S); sürtünme kuvveti (F') ve bunu meydana getiren normal kuvvet (N). Talaş kaldırma kuvveti ile normal kuvveti arasındaki (η) açısı sürtünme açısıdır. Sürtünme katsayısı (μ) ile ifade edildiğinde;

$$\mu = F' / N = \tan \eta \quad (2.1)$$

sürtünme açısı denklemi elde edilir.

Kuvvet diyagramından yararlanılarak kesmeyle ilgili kuvvetler bulunabilir.

$$P_z = R \cos(\eta - \gamma_0) \quad (2.2)$$



Şekil 2.10 Kuvvet diyagramı

$$P_T = R \sin(\eta - \gamma_0) \quad (2.3)$$

$$N = R \cos \eta \quad (2.4)$$

$$P_N = P_T \cos \beta + P_Z \sin \beta \quad (2.5)$$

$$P_S = P_Z \cos \beta - P_T \sin \beta \quad (2.6)$$

Belli bir kesme hızında (V_c), hesaplanan kesme kuvvetinin yardımıyla, tezgah gücü aşağıdaki denklemle hesaplanabilir [King,1985].

$$E(\text{hp}) = \frac{P_z V_c}{33000} \quad (2.7)$$

Ortogonal kesme işleminde kesici takımın kesme kenarı, talaş kesitini içeren düzleme paraleldir. Oblig (eğik) kesme işleminde ise, bahsedilen düzlem ile kesici kenar arasında eğim açısı denilen bir açı vardır. Anlaşılması kolay olması açısından, Şekil 2.11'de üç boyutlu bir oblig (eğik) talaş kaldırma örneği gösterilmiştir. Projedeki tüm konularda ortogonal kesme

işlemi kullanıldığı için, oblik (eğik) kesmede, sadece kuvvetler ve gerilmeler anlatılacaktır.

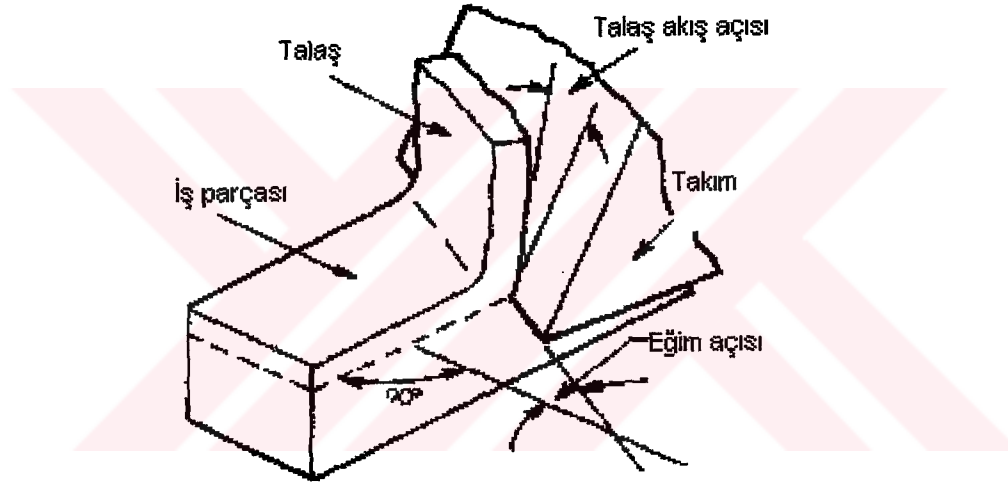
$$\mu = \frac{P_N + P_S \tan \gamma_0}{P_S - P_N \tan \gamma_0} \quad (2.8)$$

denklemden (μ) sürtünme katsayısıdır. (P_S); kayma düzleminde oluşan kuvvet ve (P_N); kayma düzlemine dik olan normal kuvvettir. Sürtünme kuvveti (F') ile gösterilirse;

$$F' = P_N \cos \gamma_0 + P_S \sin \gamma_0 \quad (2.9)$$

$$\tau_s = \frac{P_S \sin \beta \cos \beta - P_N \sin^2 \beta}{A_0} \quad (2.10)$$

kayma gerilmesi denklemindeki (A_0); talaş kesitini ifade eder [Drozda,1983].

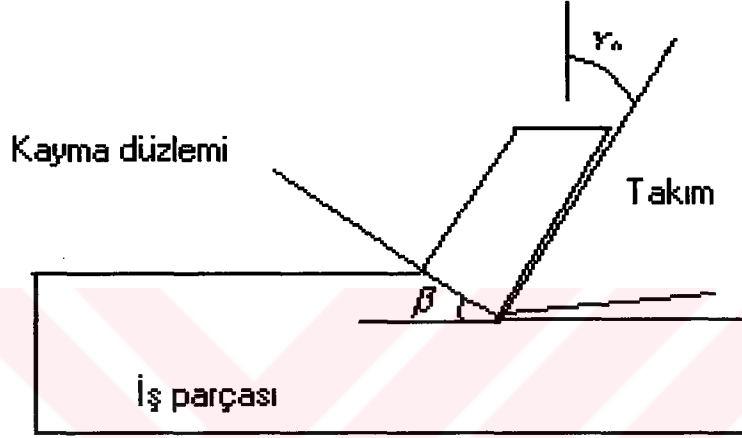


Şekil 2.11 Oblik (eğik) kesme modeli

3. KAYMA AÇISI

Daha öncede anlatıldığı gibi iş parçasından kaldırılan malzeme tabakasının talaşa dönüşmesi, kesme bölgesi denilen bir bölgede meydana gelmektedir. Konuyu daha anlaşılır bir duruma getirmek maksadıyla bu bölge yerine, kayma düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır. Kesme bölgesine dayanan talaş kaldırma teorisine kalın bölge teorisi, kayma düzlemine dayanan ise ince bölge teorisi denilmektedir.

İnce bölge teorisine göre kesici takım, iş parçası üzerinden kesme yönü denilen belirli bir doğrultuda talaş kaldırır (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Kayma düzlemi ve açısı

Şekilde kayma düzlemi, kayma açısı (β) ve kesici takım talaş açısı (γ_0) gösterilmiştir. Talaşın iş parçası üzerinden ayrıldığı yüzeye kayma düzlemi denir. Kayma açısını değiştiren bir çok etmen vardır. İlerleyen sayfalarda kayma açısını etkileyen faktörler detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Kayma açısı büyük olduğunda, iş parçasının yüzey kalitesi daha iyi olur ve daha az bir kuvvetle talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir.

Burada kayma açısının temel bağıntısını incelemekte fayda olacaktır. Sonraki sayfalarda bu bağıntı ve teoriler geniş bir şekilde açıklanacaktır.

Debinin korunumu prensibini talaş akışına uygularsak,

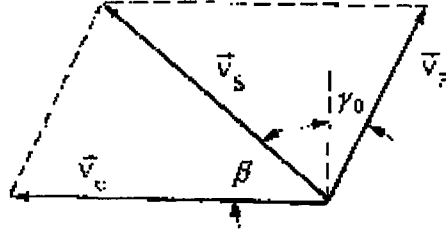
$$V_c t b_2 = V_f t_f b_3 \quad (3.1)$$

$b_2 = b_3$ olduğunda,

$$\frac{V_F}{V_C} = \frac{t}{t_f} = r_C \quad (3.2)$$

Şekil 3.2'deki hız diyagramına göre,

$$V_S = V_C + V_F \quad (3.3)$$



Şekil 3.2 Kesme hız diyagramı

Hız diyagramında, kayma açısının tanjantı alınırsa aşağıdaki denklem meydana gelir.

$$\tan \beta = \frac{V_F \cos \gamma_0}{V_C - V_F \sin \gamma_0} = \frac{r_C \cos \gamma_0}{1 - r_C \sin \gamma_0} \quad (3.4)$$

Burada ; (β) kayma açısı, (V_F) talaş akış hızı, (V_C) kesme hızı, (γ_0) talaş açısı ve (r_C) talaş kalınlığı oranıdır. (V_S) ise kayma düzlemindeki hız bileşenidir.

3.1 Kayma Açısı Teorileri

Kayma açısı teorilerine başlamadan önce, kesme kuvvetlerinin teorik olarak bulunması gerekmektedir. Dinamometre kullanılmadan bilinen fiziki parametrelerle kesme kuvvetleri bulunacaktır.

$$P_{ZT} = P_Z + F' + P_{ZP} \quad (3.5)$$

P_{ZT} : Dinamometre ile ölçülen toplam kuvvet

F' : Kesici takımın talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti

P_{ZP} : Z eksenindeki kesici takımın burun yuvarlanmasından dolayı oluşan kuvvet

P_Z : Z eksenindeki gerçek kesme kuvveti

Ortogonal kesme sistemi için kesme kuvveti,

$$P_Z = P_{ZT} - F' - P_{ZP} = st\tau_s \left\{ \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0)} \right\} \quad (3.6)$$

s : İlerleme (mm/devir)

t : Kesme derinliği (mm)

τ_s : Dinamik kayma gerilmesi (kg/mm^2)

η : Sürtünme açısı

γ_0 : Ortogonal talaş açısı

β : Kayma açısı

Denklem (3.6)'da ki kesme bölgesi alanı ve talaş açısı bilinmektedir. Kesme kuvvetlerinin bulunmasında bazı problemler ortaya çıkmaktadır;

- 1) Talaş kaldırma işlemi esnasında, kayma gerilmesinin bulunması,
- 2) Denklem (3.6)'da ki parametreleri değerlendirmek için, uygun bir kayma açısı bağıntısının bulunması.

Bu sıkıntıları gidermek için birkaç metot vardır. Bu metotlardan bazıları istenilen sonuca oldukça yakındır. Bazıları ise tahmin edilenden daha kötü sonuçlanmıştır. Gerçek kesme kuvveti değeri, bu metotlarla bulunan sonuçlar arasında olabilir. Yani üst ve alt değerler arasında olabilir.

Alt sınır düşüncesi, maksimum iş prensibiyle anlatılabilir. Uygulanan gerilmeyle oluşan deformasyon, maksimum enerji sarfiyatını gerektirir. Sonuç olarak, statik sistemlerin ürettiği iş miktarı, gerçek sistemlerin ürettiği iş miktarına eşit veya ondan az olacaktır.

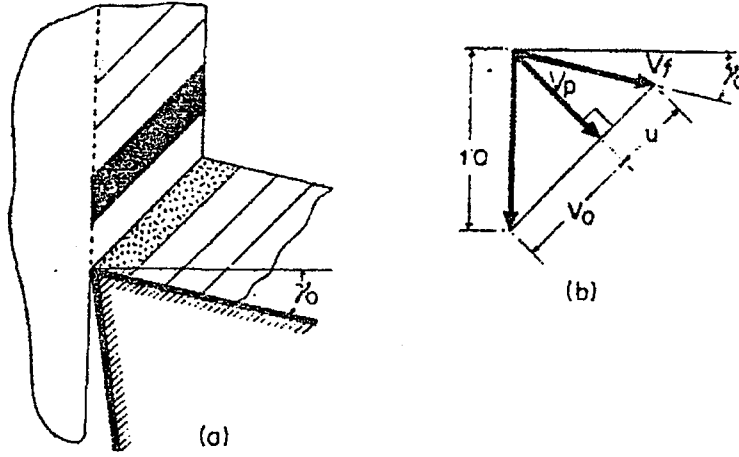
Üst sınır çözümünde ise, plastik şekil değiştirmedeki, gerilim artışı miktarı olarak düşünülmüştür. Bu düşüncede, uygulanan basınçlarda birbirlerine eşittir. İş parçası malzemesi sıkıştırılamaz olduğu kabul edildiğinde, plastik deformasyona uğramış hacim değişmez. Maksimum iş prensibi bu uygulamada kullanılabilir.

Bu prensibe göre, iş parçası malzemesine uygulanan gerilme, malzemenin mukavemetini aşarsa, malzeme deforme olur.

Şekil 3.3'de, siyah renkli birim element, kayma düzlemine yaklaşarak talaş formuna dönüşür.

(v_a) ve (v_p) bileşenlerine sahip olan hız, kayma düzlemi içindedir ve kayma düzlemine

diktir. Bu kuvvet, malzeme sıkıştırılmadığı düşünüldüğünden sabit kalır yani değişmez. Fakat , kayma düzlemi içindeki hız değişebilir. Sonradan kazanılan hız olan (u)'nun değeri, talaş akma yönündeki (V_f) hızının bilinmesiyle hesaplanır.



Şekil 3.3 Birim elementin talaşa dönüşmesi

Kayma gerilmesinden dolayı oluşan iş hesaplanabilir.

$$dw = P_s ds = \tau_s A_s ds$$

$$\frac{dw}{dt} = \tau_s A_s \frac{ds}{dt} = \tau_s A_s u \quad (3.7)$$

$$\frac{dw}{dt} = \tau_s u \int ds$$

$$A_s = \int ds = s$$

dinamik kayma gerilmesi sabit olduğunda,

$\tau_s = K$ kabul edilebilir ve denklem düzenlenirse,

$$\frac{dw}{dt} = Kus \quad (3.8)$$

denklemini elde edilir.

$(\frac{dw}{dt})$ 'nin en küçük değeri, farklı uygulamalar için gerekli olacaktır.

3.1.1 Ernst ve Merchant'ın Üst-Sınır Çözümü

Ernst ve Merchant aşağıdaki kabulleri yaparak, kesme kuvvetini bulmuşlardır.

- 1) Kayma gerilmesi, bu çalışma için sabit bir parametredir.
- 2) Sisteme verilen toplam enerji, deformasyon enerjisine dönüşür.

$$\frac{dw}{dt} = P_z V_C$$

- 3) Talaş ve kesici takım arasındaki sürtünme şekli değişmez.

$$E = \frac{dw}{dt} = P_z V_C = \frac{K a_1 b_1 \cos(\eta - \gamma_0) V_C}{\sin \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0)} \quad (3.9)$$

Minimum enerji prensibi uygulandığında,

$$\frac{dP_z}{d\beta} = -K a_1 b_1 \cos(\eta - \gamma_0) \left[\frac{\cos \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0) - \sin \beta \sin(\beta + \eta - \gamma_0)}{\sin^2 \beta \cos^2(\beta + \eta - \gamma_0)} \right] = 0 \quad (3.10)$$

denklemleri çıkar ve denklemin payı sıfıra eşitlenirse,

$$\cos \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0) - \sin \beta \sin(\beta + \eta - \gamma_0) = 0 \text{ veya,}$$

$$\cos(\beta + \eta - \gamma_0) = 0$$

$$2\beta + \eta - \gamma_0 = \frac{\pi}{2} \quad (3.11)$$

enerji denkleminde (3.9) yerine konulduğunda,

$$P_z = 2Kst \cot \beta = 2Kst \left[\frac{\zeta - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} \right] \quad (3.12)$$

denklemine dönüşür.

3.1.2 Merchant'ın İkinci Çözümü

Merchant alternatif bir çözüm şekli bulmuştur. Deformasyon ve sürtünmenin etkisiyle, normal kuvvet (P_N) değişir. Normal kuvvet, kayma düzlemine diktir. Kayma düzlemindeki gerilmenin normal (σ_n), kayma düzlemi doğrultusunda, kayma gerilmesini değiştirir.

$$\tau_s = \tau_0 + k\sigma_n \quad (3.13)$$

k : Eğim (Şekil 3.4)

Daire diyagramından,

$$P_N = P_S \tan(\beta + \eta - \gamma_0) \quad (3.14)$$

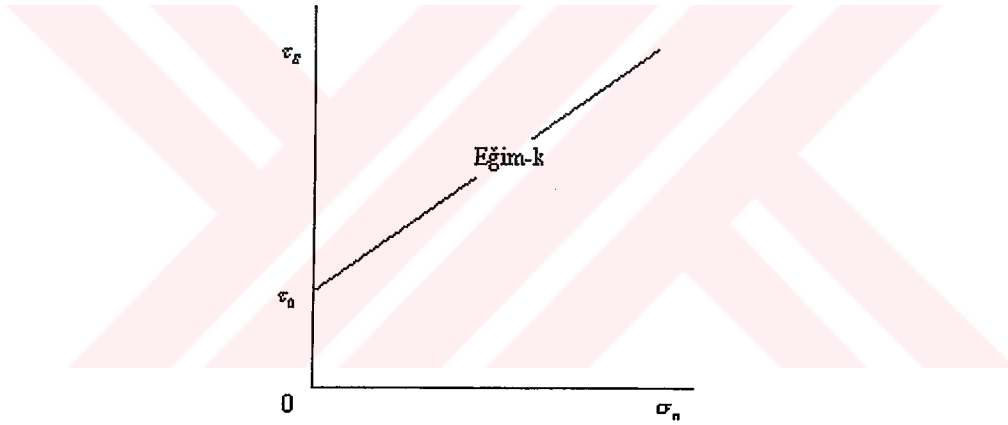
$$\sigma_n = \tau_s \tan(\beta + \eta - \gamma_0) \quad (3.15)$$

denklem (3.15), denklem (3.13)'de yerine konulduğunda,

$$\tau_s = \tau_0 + k \tau_s \tan(\beta + \eta - \gamma_0)$$

$$\tau_s = \frac{\tau_0}{1 - k \tan(\beta + \eta - \gamma_0)} \quad (3.16)$$

$$P_z = st \frac{\tau_0 \cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0) [1 - k \tan(\beta + \eta - \gamma_0)]} \quad (3.17)$$



Şekil 3.4 $\tau_s - \sigma_n$ Arasındaki bağıntı

Kesme kuvvetine minimum enerji prensibi uygulandığında,

$$\frac{dP_z(\beta)}{d\beta} = \cos\beta(\cos(\beta + \eta - \gamma_0) - \sin(\beta + \eta - \gamma_0)\sin\beta) - k \cos\beta \sin(\beta + \eta - \gamma_0) - k \sin\beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0) = 0$$

$$\cos \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0) - \sin \beta \sin(\beta + \eta - \gamma_0)$$

$$= k [\cos \beta \sin(\beta + \eta - \gamma_0) + \sin \beta \cos(\beta + \eta - \gamma_0)] \quad (3.18)$$

$$\cos(2\beta + \eta - \gamma_0) = k \sin(2\beta + \eta - \gamma_0)$$

$$2\beta + \eta - \gamma_0 = \cot^{-1} k = c \quad (3.19)$$

c : Talaş kaldırma sabiti

İş parçasına bağlı olarak, genellikle bu sabit değer $\pi/2$ 'den küçüktür. Kesme kuvveti, yeniden düzenlenebilir.

$$P_z = \tau_s st [\tan(c - \beta) + \cot \beta] \quad (3.20)$$

$\tan \beta = \frac{\cos \gamma_0}{\zeta - \sin \gamma_0}$ eşitliği kullanıldığında,

$$P_z = \tau_s st \left[\frac{\zeta - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} + \tan \left[c - \arctan \frac{\cos \gamma_0}{\zeta - \sin \gamma_0} \right] \right] \quad (3.21)$$

Malzemeye bağlı c sabit değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Malzemeye bağlı c sabiti

İş parçası malzemesi	C (derece)
AISI-1010	69.8
AISI-1020	69.6
AISI-1045	78.0
AISI-2340	76.2
AISI-3140	70.6
AISI-4340	74.5
303-PASLANMAZ ÇELİK	92.0
304-PASLANMAZ ÇELİK	82.0

3.1.3 Loladze'nin Açı Bağıntısı

Kayma düzlemi uzunluğu değiştiğinde, kesme kuvveti aşağıdaki gösterilen şekilde ifade edilebilir.

$$dP_z = \frac{\tau_s a_1 \cos(\eta - \gamma_0) db}{\sin \beta_x \cos(\beta_x + \eta - \gamma_0)} \quad (3.22)$$

$$\tau_s = \frac{\tau_0}{1 - k \tan(\beta_x + \eta - \gamma_0)} \text{ olduğu için,}$$

$$dP_z = \frac{\tau_0 a_1 (1 + \tan^2 \beta_x) db}{\tan \beta_x [1 - k \tan(\eta - \gamma_0)] - \tan^2 \beta_x [\tan(\eta - \gamma_0) + k]} \quad (3.23)$$

$$\tan \beta_x = \frac{\cos \gamma_0}{\zeta_x - \sin \gamma_0} \text{ denklemini yerine konulursa,}$$

$$dP_z = \frac{\tau_0 a_1 (\zeta_x^2 - 2\zeta_x \sin \gamma_0 + 1) db}{\cos \gamma_0 [1 + k \tan(\eta - \gamma_0)] \left\{ \zeta_x - \sin \gamma_0 - \cos \gamma_0 \frac{k + \tan(\eta - \gamma_0)}{1 - k \tan(\eta - \gamma_0)} \right\}} \quad (3.24)$$

$$A = \frac{\tau_0 a_1}{\cos \gamma_0 [1 - k \tan(\eta - \gamma_0)]} \text{ ve}$$

$$B = \sin \gamma_0 + \cos \gamma_0 \frac{k + \tan(\eta - \gamma_0)}{1 - k \tan(\eta - \gamma_0)} \text{ kabul edildiğinde,}$$

$$P_z = A \int_0^b \frac{\zeta_x^2 - 2\zeta_x \sin \gamma_0 + 1}{\zeta_x - B} db$$

$$= A \left[\int_0^b \zeta_x db + Bb - 2 \sin \gamma_0 b + (B^2 - 2B \sin \gamma_0 + 1) \int_0^b \frac{db}{\zeta_x - B} \right] \quad (3.25)$$

$$\int_0^b \zeta_x db = \frac{b a_{2ort}}{a_1} = b \zeta_{ort} \text{ ve } \int_0^b \frac{db}{\zeta_x - B} \cong \frac{b}{\zeta_{ort} - B}$$

$$P_z = Ab \left[\zeta_{ort} + (B - 2 \sin \gamma_0) + \frac{B^2 - 2B \sin \gamma_0 + 1}{\zeta_{ort} - B} \right] \quad (3.26)$$

minimum enerji prensibine göre,

$$\frac{dP_z}{d\zeta_{ort}} = 0$$

$$B^2 - 2B \sin \gamma_0 + 1 = (\zeta_{ort} - B)^2$$

$$B = \frac{\zeta_{ort}^2 - 1}{2(\zeta_{ort} - \sin \gamma_0)} \quad (3.27)$$

Denklem (3.27), denklem (3.26)'da kullanıldığında,

$$P_z = \frac{2a_1 b \tau_0 (\zeta_{ort} - \sin \gamma_0)}{\cos \gamma_0 [1 - k \tan(\eta - \gamma_0)]} \quad (3.28)$$

kesme kuvveti elde edilir.

$$B = \frac{\zeta_{ort}^2 - 1}{2(\zeta_{ort} \sin \gamma_0)} = \sin \gamma_0 + \cos \gamma_0 \frac{k + \tan(\eta - \gamma_0)}{1 - k \tan(\eta - \gamma_0)} \quad (3.29)$$

$$\zeta_{ort} = \sin \gamma_0 + \cos \gamma_0 \frac{\sin(\eta + \bar{c} - \gamma_0) + 1}{\cos(\eta + \bar{c} - \gamma_0)} \quad (3.30)$$

$$\bar{c} = \tan^{-1} k$$

$$\cot \beta_{ort} = \frac{\zeta_{ort} - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0}$$

$$\cot \beta_{ort} = \frac{\sin(\eta + \bar{c} - \gamma_0) + 1}{\cos(\eta + \bar{c} - \gamma_0)} \quad (3.31)$$

3.1.4 Lee ve Shaffer'in Alt Sınır Çözümü

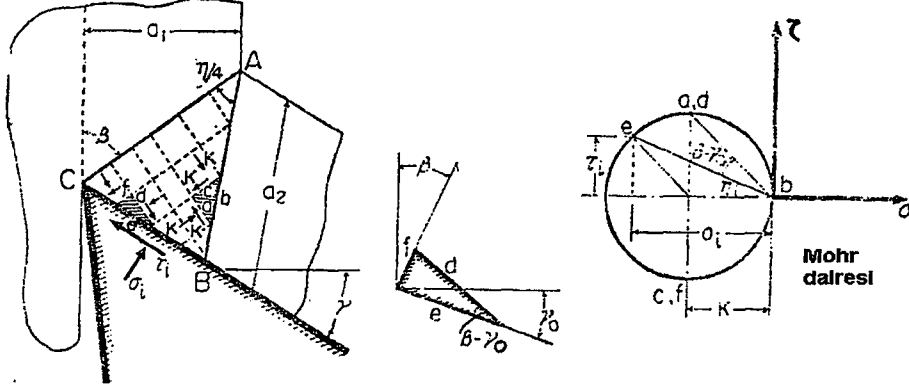
Alt sınır çözümüne bağlı olarak Lee ve Shaffer, alternatif bir açı bağıntısı geliştirmişlerdir. Herhangi bir yük için gerilim dağılımı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- 1) Denge koşulları her yerde geçerlidir
- 2) Gerilme dağılımı harici yüklerle dengelenir
- 4) Gerilmeler, akma gerilmelerinden küçüktür.

Talaş içinde, bir gerilme alanı vardır. Bu gerilme alanı, kesme kuvvetlerini, kayma düzleminden talaşa aktarır. Gerilme durumlarını bulmak için, çizgi tekniği kullanıldı ve aşağıdaki kabuller yapıldı.

- 1) Gerilme düzlemindeki materyal pekleşmez
- 2) Kayma düzlemi ve en büyük kayma gerilmesi yönü birbirleriyle aynıdır.

Bu bölgedeki gerilme alanı, iki paralel çizgiyle oluşturulduğu düşünülür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kayma bölgesindeki kayma çizgileri

Kayma çizgisi alanı geometrisinden, açı bağıntıları kolayca elde edilebilir. B noktasındaki gerilme sıfırdır. a, d ve c, f kayma çizgileriyle sınırlandırılmış olan gerilmelerdir. C B doğru parçası, e harfi ile temsil edilmiştir.

$$\tan \eta = \frac{\tau_i}{\sigma_i} = \mu \quad (3.32)$$

e ve d çizgileri arasındaki açı, $(\beta - \gamma_0)$ olarak gösterilir.

Mohr dairesi kullanılarak açı bağıntısı bulunabilir.

$$\beta + \eta - \gamma_0 = \frac{\pi}{4} \quad (3.33)$$

Bu açı bağıntısı, Lee ve Shaffer tarafından bulunmuştur. Kesme kuvveti düzenlenirse,

$$P_z = \tau_s a_1 b_1 (1 + \cot \beta) \quad (3.34)$$

$$= \tau_s a_1 b_1 \left(1 + \frac{\zeta - \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0}\right) \quad (3.35)$$

kesme kuvveti denklemini elde edilir.

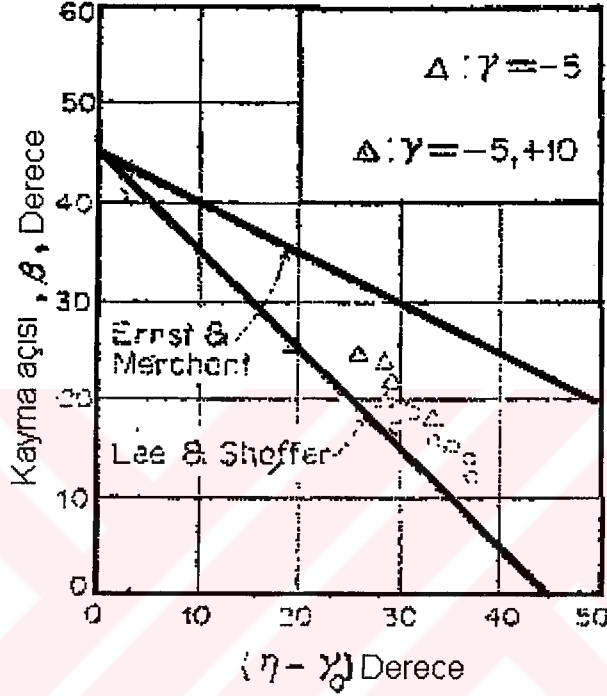
Şayet talaş açısı negatif ve sürtünme açısı 35 derece olursa, kayma açısının kotanjantı sonsuz

olur. Bu yüzden, bu çözümün doğruluğu savunulamaz. Çözümü düzeltmek için, yeni bir bağıntı çıkarılmıştır.

$$\beta = 45^\circ + \gamma_0 - \eta + \theta \quad (3.36)$$

θ : Takım ucuna bağlı bir açı

Kayma, sürtünme ve talaş açıları arasındaki ilişkiler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Kayma, sürtünme ve talaş açıları arasındaki ilişki

Şekilden de anlaşılacağı gibi, Lee ve Shaffer'in bağıntısı alt sınır çözümüne, Ernst ve Merchant'ın bağıntısı üst sınır çözümüne uygundur. Deneysel çalışmalardan bulunan noktalar, bu iki sınır arasında bulunmaktadır. Her iki çözümde, deneysel çalışmalara uygundur.

3.1.5 Kronenberg'in Açı Bağıntısı

Talaş kalınlığı oranı, hız analizi kullanılarak bulunabilir.

$$\frac{V_f}{V_c} = e^{\mu(\pi/2 - \gamma_0)} = \frac{1}{\zeta} \text{ denklem düzenlendiğinde,}$$

$$\zeta = e^{\mu(\pi/2 - \gamma_0)} \quad (3.37)$$

kesme hızı – talaş akış hızı oranı elde edilir.

$$\tan \beta = \frac{\cos \gamma_0}{\zeta - \sin \gamma_0} \text{ denklemler birleştirildiğinde,}$$

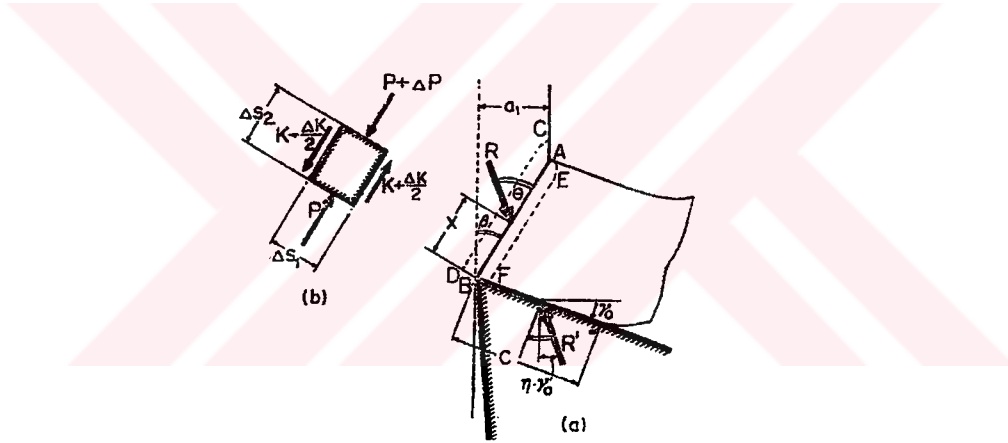
$$\tan \beta = \frac{\cos \gamma_0}{e^{\mu(\pi/2-\gamma_0)} - \sin \gamma_0} \text{ açı bağıntısı bulunur ve denklem yaklaşık olarak aşağıdaki}$$

denklem şeklinde gösterilebilir

$$\beta = (\pi/4) + \frac{\gamma_0}{2} - \eta(0.75 + 0.0045\gamma_0) \quad (3.38)$$

3.1.6 Oxley'in Küçük Kayma Bölgesi Modeli

Küçük kayma bölgesi modeli, düz ve paralel çizgilerle sınırlandırılmıştır. Kolay anlaşılabilmesi için, çizgilerin serbest yüzeye yakın olduğu ve 45 derecelik açıyla yüzeye bağlandığı düşünülmüştür (Şekil 3.7 a).



Şekil 3.7 Kayma bölgesindeki kayma çizgisi alanı

Serbest yüzeydeki A noktasında, kayma gerilmesi ve normal gerilme sıfırdır. Mohr dairesinden, hidrostatik gerilmenin K olduğu görülmektedir.

Hencky'nin düzeltilmiş açı bağıntısına göre,

$$\rho + 2K\psi + \int \frac{\partial k}{\partial S_2} dS_1 = \text{sabit}$$

$$\rho - 2K\psi + \int \frac{\partial K}{\partial S_2} dS_1 = \text{sabit} \quad (3.39)$$

ρ : a noktasındaki hidrostatik gerilme

K : Kayma gerilmesi

ψ : Referans eksenine ile kayma çizgisi teğetinin arasındaki açı

dS_1, dS_2 : Elemental uzunluk

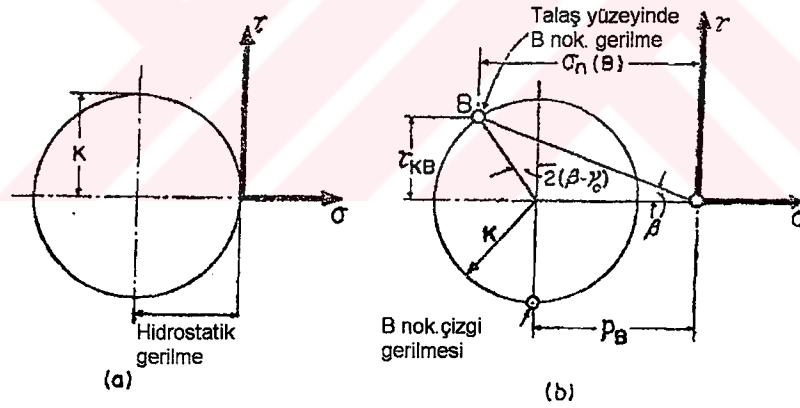
$$\rho_A = K + 2K\{(\pi/4) - \beta\} \quad (3.40)$$

$$\Delta P = \left(\frac{\Delta K}{\Delta S_1} \right) \Delta S_2 \quad (3.41)$$

$\left(\frac{\Delta K}{\Delta S_1} \right)$: Sabit (Şekil 3.7 b).

$$\rho_B = \rho_A - \left(\frac{\Delta K}{\Delta S_1} \right) \frac{a_1}{\sin \beta} \quad (3.42)$$

B noktası için Mohr dairesinden (Şekil 3.8),



Şekil 3.8 Mohr dairesindeki gerilmeler

$$[\rho_B + K \sin 2(\beta - \gamma_0)] \tan \eta = K \cos 2(\beta - \gamma_0) \text{ veya}$$

$$\rho_B = K \left[\frac{\cos 2(\beta - \gamma_0)}{\tan \eta} - \sin 2(\beta - \gamma_0) \right] \quad (3.43)$$

gerilme denklemi elde edilir.

Kayma düzlemi ile bileşke kuvveti arasındaki açı aşağıda verilmiştir.

$$\tan \theta = \frac{\rho_A + \rho_B}{2K} \quad (3.44)$$

denklemler düzenlenirse,

$$\tan \theta = \frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} - \beta + \frac{\cos 2(\beta - \gamma_0)}{2 \tan \eta} - \frac{\sin 2(\beta - \gamma_0)}{2} \quad (3.45)$$

denklemini elde edilir. R' ve V_C arasındaki açı $(\beta - \gamma_0)$ 'dir. Buradan,

$$\theta = \beta + \eta - \gamma_0 \quad (3.46)$$

bağıntısı ortaya çıkar. Bu yüzden kayma açısı bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

$$\beta + \eta - \gamma_0 = \left[\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} - \beta + \frac{\cos 2(\beta - \gamma_0)}{2 \tan \eta} - \frac{\sin 2(\beta - \gamma_0)}{2} \right] \quad (3.47)$$

3.1.7 Zorev'in Açı Bağıntısı

Talaş akış bölgesi iki adet kayma düzlemiyle sınırlandırılmıştır. Sınırlar, (β_1) ve (β_2) kayma açılarıyla temsil edilmiştir. Bu açılar, hız vektörlerine bağlıdır. Genellikle akış bölgesi modelinde aşağıdaki bağıntı geçerlidir.

$$\beta_1 < \beta \leq \beta_2$$

Üst sınırdaki gerinme,

$$\varepsilon_2 = \cot \beta - \cot(\beta - \psi) \quad (3.48)$$

denkleminde ifade edilir ve $\beta_2 = \beta$ olduğunda,

$$\varepsilon_2 = \cot \beta - \tan(\beta + \eta - \gamma_0) \quad (3.49)$$

gerinme denklemi elde edilir. Denklemler eşitlendiğinde,

$$2\beta + \eta - \gamma_0 = \frac{\pi}{2} - \psi \quad (3.50)$$

açı bağıntısı ortaya çıkar.

Zorev, ψ 'nin bazı değerleri için, açı bağıntısını, diğer araştırmacılara uygun hale getirmiştir (Çizelge 3.2).

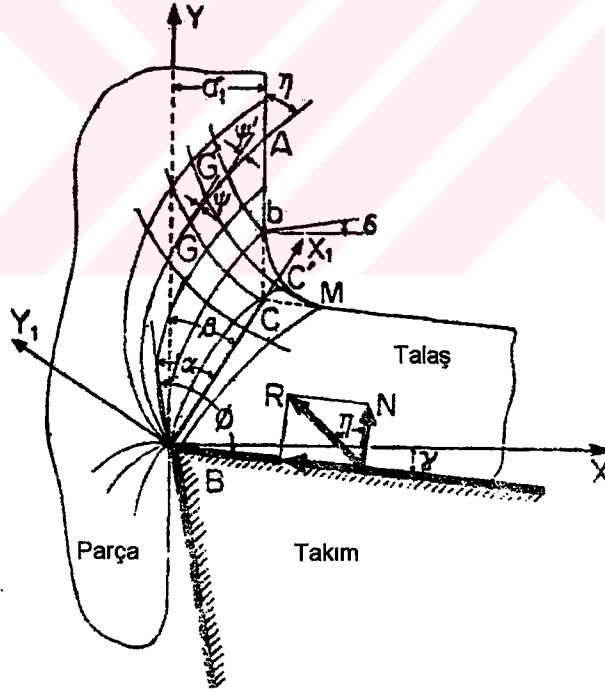
Çizelge 3.2 Farklı ψ değerleri için elde edilen açı bağıntıları

ψ 'nin durumu	Sonuç	
$\psi=0$	$2\beta+\eta-\gamma_0=\pi/2$	Ernst ve Merchant'ın çözümü
$\psi=C_1$	$\beta=\frac{\pi}{2}-\frac{\eta+C_1+\delta}{2}, \delta=\pi/2-\gamma_0$	Zvorikyn'nin çözümü
$\psi=C_1$	$2\beta+\eta-\gamma_0=C, C=\pi/2-C_1$	Merchant'ın ikinci çözümü
$\psi=\eta-\gamma_0$	$\beta+\eta-\gamma_0=\pi/4$	Lee ve Shaffer'ın çözümü
$\psi=\eta$	$\beta=\pi/4+\gamma_0/2-\eta$	Stabler'ın çözümü

Tek düzlem teorisine göre, $\beta = \beta_2$ ve $\psi = 0$ olduğundan Ernst ve Merchant'ın açı bağıntısı ortaya çıkar. Deneysel çalışmalardan, ψ 'nin kesme hızına bağlı olduğu anlaşılmıştır.

3.1.8 Kayma Bölgesi Teorisine Bağlı Olarak Loladze'nin Açı Bağıntısı

Loladze'nin kayma bölgesindeki kayma çizgi tekniği modeli Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Kayma bölgesindeki kayma çizgi tekniği modeli

Loladze kayma açısı, sürtünme katsayısı ve talaş açısı arasındaki bağıntıyı bulmak için, iki adet talaş oluşma tekniği kullanmıştır.

- 1) Kuvvetlerin analizi için kayma düzlemi,
- 2) Gerilme analizi için kalıcı deformasyon bölgesi

Normal ve teğetsel gerilmeler kayma düzlemi boyunca sürekli olursa, nispeten küçük olan talaş akması ihmal edilebilir.

$$\frac{P_N}{P_S} = \tan(\beta + \eta - \gamma_0) = \frac{\sigma_{n_{ort}}}{\tau_{S_{ort}}} \quad (3.51)$$

$\sigma_{n_{ort}}$: Ortalama normal gerilme

$\tau_{S_{ort}}$: Ortalama kayma gerilmesi

Bir çok araştırma, kayma bölgesindeki kayma gerilmesinin kesme şartlarına ve takım şekline bağlı olmadığını göstermiştir. İlk çözümde, kayma düzlemindeki normal gerilmelerin lineer olarak dağıldığı düşünüldü.

$$\sigma_{n_{ort}} = \frac{\sigma_{n_B} + \sigma_{n_C}}{2} \quad (3.52)$$

$$\tan(\beta + \eta - \gamma_0) = \frac{\sigma_{n_B} + \sigma_{n_C}}{\tau_{S_{ort}}} \quad (3.53)$$

σ_{n_B} : B noktasındaki normal gerilme

σ_{n_C} : C noktasındaki normal gerilme

b noktasındaki ortalama normal gerilmeyi bulmak için, A noktasından ilerlemeye başlanmalıdır. A noktası, kayma bölgesi arkasındaki serbest yüzey üzerindedir. B noktasındaki gerilme, $AG' - G'b$ arasındaki mesafeden bulunabilir. Serbest yüzeyde bulunan A noktasındaki normal gerilme sıfırdır. Normal gerilmenin ikinci prensibi, yüzeye teğet olan gerilme akma gerilmesine eşittir.

A noktasındaki ortalama normal gerilmesi aşağıda gösterilmiştir.

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{A_1} + \sigma_{A_2}}{2} = -K$$

$$\sigma_{G'} = -K(1 + 2\psi') \quad (3.54)$$

ψ' : A noktasına bağlı olarak, G noktasındaki kayma çizgisi sapma açısı

$b - G'$ arasındaki kayma çizgisi sapması,

$a_b = [(\pi/4) - \delta]$, $a_{G'} = [(\pi/4) - \psi']$, bu yüzden $\sigma_{bG'} = \psi' - \delta$ olur.

β -çizgisine Hencky'nin denklemi uygulandığında,

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \sigma_{G'} - 2K(\psi' - \delta) \\ &= -2K(0.5 + \psi') - 2K(\psi' - \delta) \\ &= -2K[0.5 + 2\psi' - \delta]\end{aligned}\quad (3.55)$$

δ : b noktasından geçen teğet ile ilerleme yönü arasındaki açı

ϕ : B noktasındaki kayma çizgisinin teğeti ile talaş yüzeyi arasındaki açı

B-b noktaları arasındaki kayma çizgisinin sapma açısı,

$$\begin{aligned}a_{Bb} &= a_B - a_b = (\phi - \gamma_0) \left(\frac{\pi}{4} + \delta \right) = \phi - [(\pi/4) + \gamma_0 + \delta] \text{ elde edilir ve} \\ \sigma_B - \sigma_b &= -2K[\phi - \{(\pi/4) + \gamma_0 + \delta\}]\end{aligned}\quad (3.56)$$

denklemi bulunur. σ_b denklemi σ_B denkleminde kullanılırsa,

$$\begin{aligned}\sigma_B &= -2K[0.5 + 2\psi' - \delta] - 2K[\phi - \{(\pi/4) + \gamma_0 + \delta\}] \\ &= -2K[0.5 + \phi - (\pi/4) - \gamma_0 + 2(\psi' - \delta)]\end{aligned}\quad (3.57)$$

denklemi çıkar. $\phi = \frac{\pi}{2}$ olduğunda, σ_B 'nin normal gerilmeye (σ_{n_b}) eşit olduğu gösterilmiştir.

ϕ 'nin değerleri için, mohr dairesinin B noktasındaki σ_{n_b} değeri bulunmalıdır. Aksis eksenini x_1 , kayma düzlemi üzerine getirilirse ve y_1 eksenine dik olursa, denklemler yeniden düzenlenir.

$$\sigma_x = \sigma_B + K \sin 2a$$

$$\sigma_y = \sigma_B - K \sin 2a$$

$$\sigma_{xy} = -K \cos 2a$$

a : B noktasında, x eksenine ile kayma çizgisinin teğeti arasındaki açı

$$a = (\phi - \gamma_0) - (90^\circ - \beta) = [90^\circ - (\phi + \beta - \gamma_0)]$$

$$\sin 2a = -\sin 2(\phi + \beta - \gamma_0) \text{ ve } \cos 2a = -\cos 2(\phi + \beta - \gamma_0)$$

kayma düzlemindeki A noktasında, normal gerilme,

$$\sigma_{n_B} = \sigma_y = -2K \left[0.5 - \frac{\pi}{4} - \gamma_0 + \phi + 2(\psi' - \delta) \right] + K \sin 2(\phi + \beta - \gamma_0)$$

$$\sigma_{n_B} = -2K \left[0.5 + \phi - \frac{\pi}{4} - \gamma_0 + 2(\psi' - \delta) - \frac{\sin 2(\phi + \beta - \gamma_0)}{2} \right] \quad (3.58)$$

İlk iki kayma çizgileri C noktasından geçiyor. C noktasındaki bir çizgi, Bb ve Ab doğrularına diktir. Diğerleri C ve G noktalarını kapsar. AG – GC kayma çizgileri benzer özelliklere sahiptir.

$$\sigma_A = -K$$

$$\sigma_G = -K(1 + 2\psi) \text{ ve}$$

$$\sigma_{n_c} = -2K \left(0.5 + \beta - \frac{\pi}{4} + 2\psi \right) \quad (3.59)$$

$$\tan(\beta + \eta - \gamma_0) = \frac{\sigma_{n_B} + \sigma_{n_c}}{2\tau} = \left[\frac{1 + \phi - \frac{\pi}{2} + \beta - \gamma_0 - \frac{\sin 2(\phi + \beta - \gamma_0)}{2} + 2(\psi + \psi' - \delta)}{\tau_{s_{ort}}} \right] K \quad (3.60)$$

kesici uca yakın bölgedeki deformasyon küçük olduğu için, $\tau_{s_{ort}} = K$ alınabilir.

$$\tan(\beta + \eta - \gamma_0) = 1 + \phi - \frac{\pi}{2} + \beta - \gamma_0 - \frac{\sin 2(\phi + \beta - \gamma_0)}{2} + 2(\psi + \psi' - \delta) \quad (3.61)$$

ψ, ψ', δ açıları kesme şartlarına bağlıdır.

$\psi + \psi' - \delta = 0$ olduğunda, $\gamma_0 = \gamma$ olur ve,

$$\tan(\beta + \eta - \gamma) = 1 + \phi - (\pi/2) + \beta - \gamma - \frac{\sin 2(\phi + \beta - \gamma)}{2} \quad (3.62)$$

bağıntısı ortaya çıkar. Talaş ve takım arasındaki sürtünme en büyük olduğunda, $\phi = 90^\circ$ olur.

$$\tan(\beta + \eta - \gamma) = 1 + \beta - \gamma + \frac{\sin 2(\beta - \gamma)}{2} \quad (3.63)$$

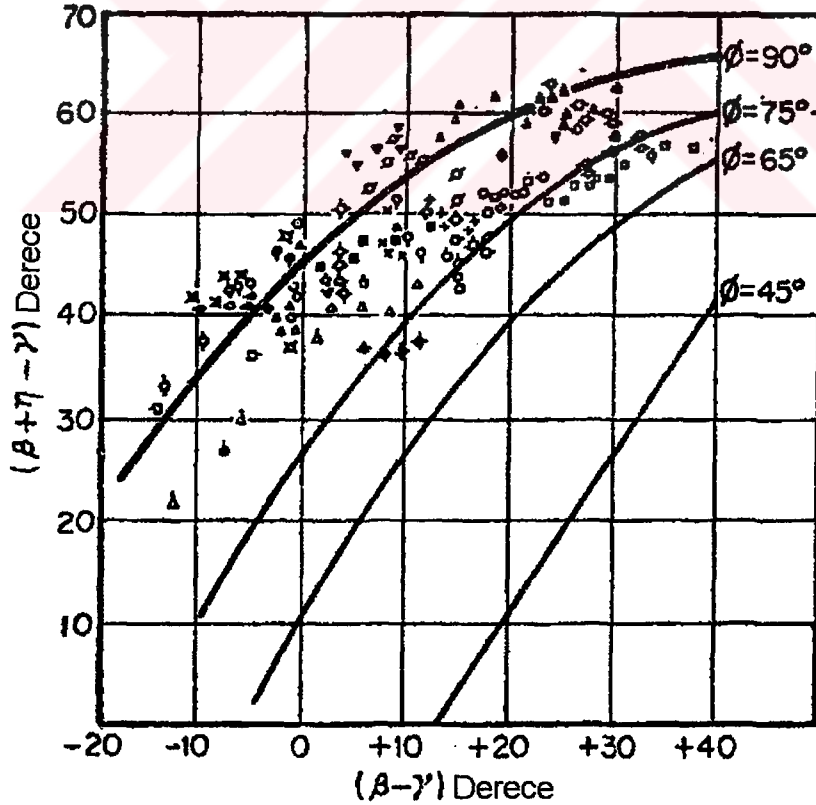
$\phi = 75^\circ$ olduğunda,

$$\tan(\beta + \eta - \gamma) = 0.74 + (\beta - \gamma) + \frac{\sin 2(\beta - \gamma - 15)}{2} \quad (3.64)$$

İdeal şart olarak sürtünmenin olmadığı düşünülürse, $\phi = 45^\circ$ olur.

$$\tan(\beta - \gamma) = 0.23 + (\beta - \gamma) - \frac{\cos 2(\beta - \gamma)}{2} \quad (3.65)$$

Şekil 3.10'da deneysel sonuçlar ile Loladze'nin denklemleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çıkarılan noktaların, $\phi = 90^\circ$ ve $\phi = 70^\circ$ eğrilerinin arasında oldukları görülür. Sürtünme maksimum olduğunda, noktalar $\phi = 90^\circ$ eğrisi etrafında yoğunlaşmıştır. Deneysel sonuçları kullanılmamıştır.

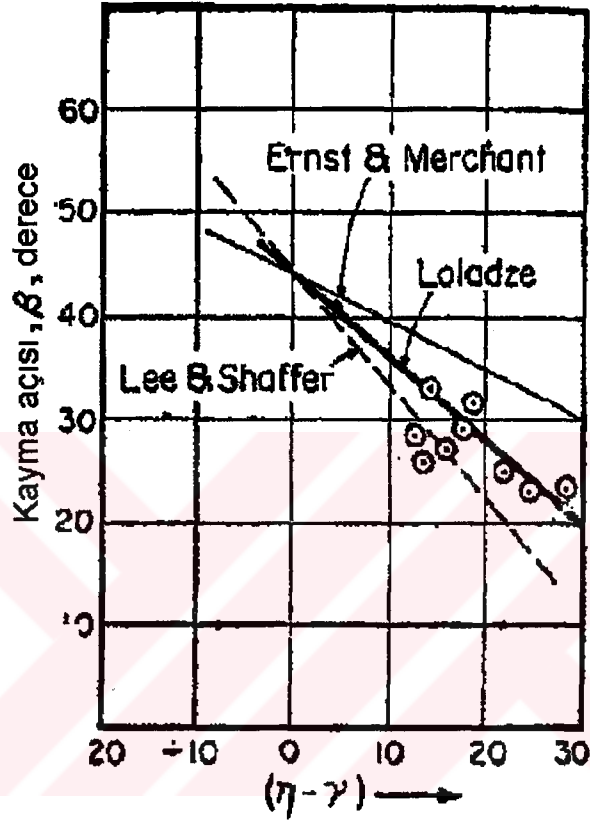


Şekil 3.10 Sürtünmenin açılara etkisi

Talaş kaldırma işleminde soğutucu sıvı olarak su kullanıldığında, açı bağıntısı tekrar yazılabilir.

$$\tan \beta + \eta - \gamma = 0.688 - 0.14(\beta - \gamma) + \frac{\sin 2(\beta - \gamma - 17^{\circ}45')}{2} \quad (3.66)$$

Loladze'nin açı bağıntısı, deneysel sonuçlara daha yakın olduğu Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11 Açı bağıntıları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması

Açı bağıntısının zamanla gelişimi Çizelge 3.3'de gösterilmiştir [Bhattacharyya,1984].

Çizelge 3.3 Açık bağıntılarının gelişimi

Araştırmacılar	Yıllar	Açık Bağıntıları
Zvorikyn	1893	$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \frac{1}{2} \arctan \mu - \frac{1}{2} \arctan \mu_1$
Bricks	1896	$\beta_1 = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - 0.5 \arctan \mu - \frac{\gamma_1}{2}$
Ernst ve Merchant	1941	$2\beta = \frac{\pi}{2} + \gamma - \eta$
Merchant	1945	$2\beta + \eta - \gamma = C = \text{arc cot } k$
Lee ve Shaffer	1951	$\beta = \frac{\pi}{4} + \gamma - \eta$
Zorev	1952	$\cot \beta_1 + \tan(\beta_1 - \gamma) = \cot k\beta_1 + \tan[k\beta_1 + \arctan(\mu - \gamma)]$
Stabler	1952	$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \eta$
Hucks	1952	$2\beta = \frac{\pi}{2} + 2\gamma - \tan^{-1}(2 \tan \eta)$
Kronenberh	1958	$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \eta[0.75 + 0.0045\gamma]$
Loladze	1965	$\tan(\beta + \eta - \gamma) = 1 + \phi - (\pi/2) + (\beta - \gamma) - \frac{\sin 2(\phi + \beta - \gamma)}{2} + 2(\psi + \psi' - \delta)$
Oxley	1968	$\beta + \eta - \gamma = \tan^{-1} \left[0.5 + (\pi/4) - \beta + \frac{\cos 2(\beta - \gamma)}{2\eta} - \frac{\sin 2(\beta - \gamma)}{2} \right]$

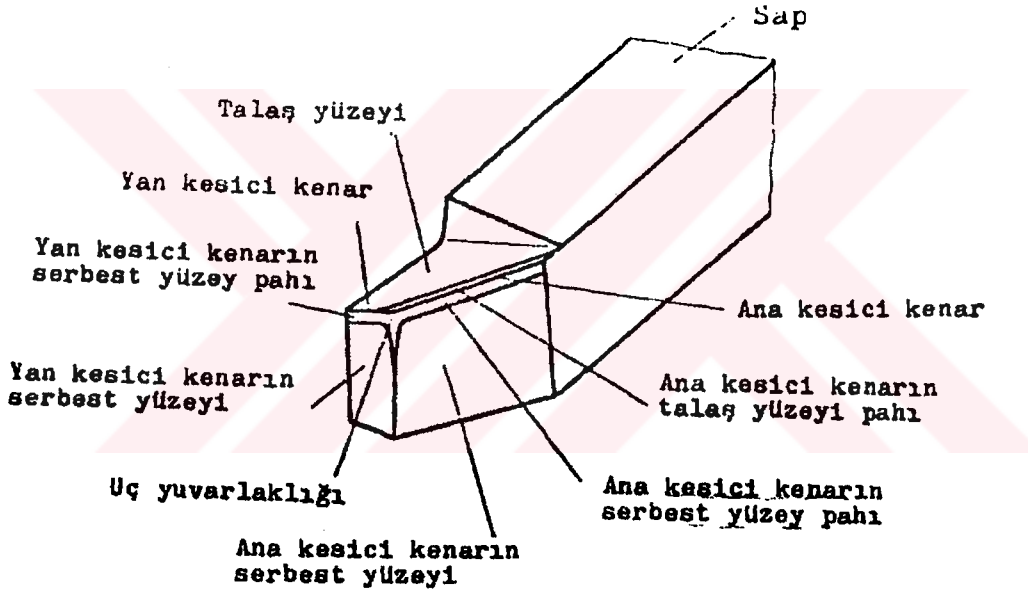
3.2 Kayma Açısını Etkileyen Faktörler

3.2.1 Takım Geometrisi

Takım tezgahları üzerinde kullanılan ve çeşitli ağızlardan oluşan, değişik konstrüktif yapılardaki araçlara kesici takım denir. Bunlar kullandıkları tezgahlara göre ve ayrıca yapılan işlere göre de değişik şekillerde olurlar. Örneğin: torna kalemleri, helisel matkap uçları, freze çakıları v.b. Takım geometrisini anlayabilmek için, takım ucunda bulunan yüzeyleri, kesici ağız , referans sistemi v.b özellikleri bilmek gerekir. Aşağıda torna kalemine ait bu özellikler anlatılacaktır.

Serbest yüzey, takımın kesici kısmının iş parçasının kesilen yüzeyine bakan yüzüdür.

Talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın aktığı yüzeydir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Torna kalemi

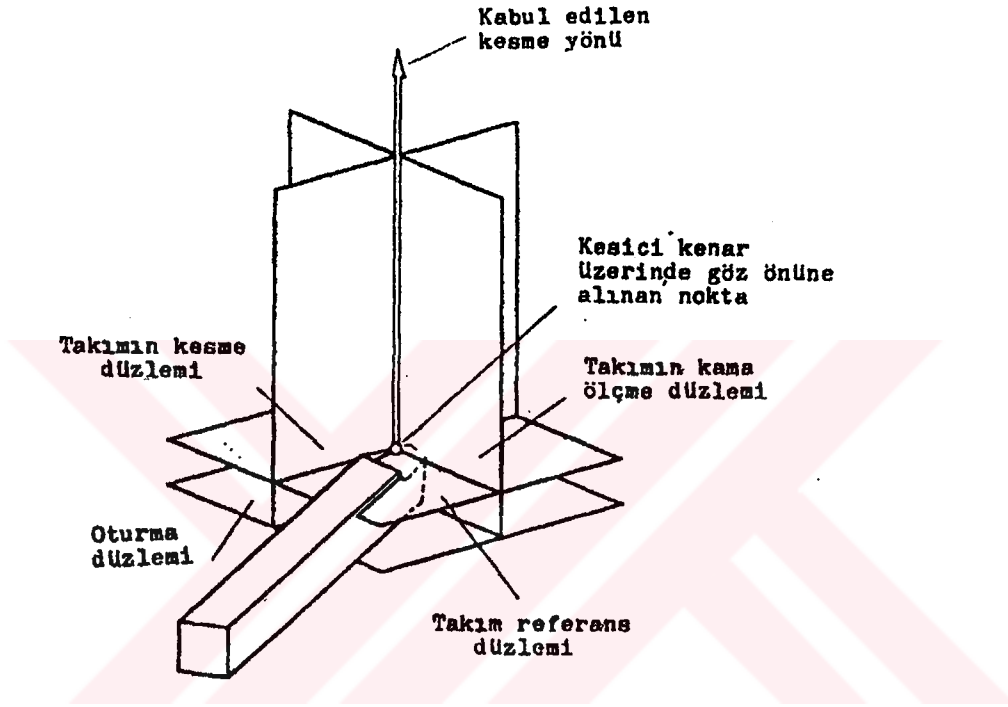
Ana kesici kenar, kesici takımın ilerleme yönündeki kesen kenarıdır. Bu kenarlar, ana serbest yüzey ile talaş yüzeyinin ara kesitidir (Şekil 3.12).

Yan kesici kenarlar, kesici takımın ana kesici kenarına bitişik olan kesen kenarıdır. Bu kenar, yan serbest yüzey ile talaş yüzeyinin ara kesitidir (Şekil 3.12).

Kesici kenar ucu, ana ve yan kesici kenarın talaş yüzeyinde birleştiği köşedir. Çoğu kez kesici kenar ucu, yuvarlatılmış ya da pahlı olarak bulunur.

Takımın kesici kısmının geometrisi, belirli bir referans sistemlerine göre saptanır. DIN 6581 standardına göre kesme yönünü esas alan takım referans sistemi ve etki yönünü esas alan etki referans sistemi olmak üzere iki referans sistemi vardır. Proje konusuyla ilgili kısım olan takım referans sistemi, aşağıda anlatılmıştır.

Takım referans sistemi, takımın kesici kenarının göz önünde tutulan bir noktasından geçen, kabul edilen kesme yönüne dikey durumda, dolayısıyla oturma yüzeyine paralel olan takım referans sisteminin bir düzlemdir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Torna kalemde takım referans sistemi

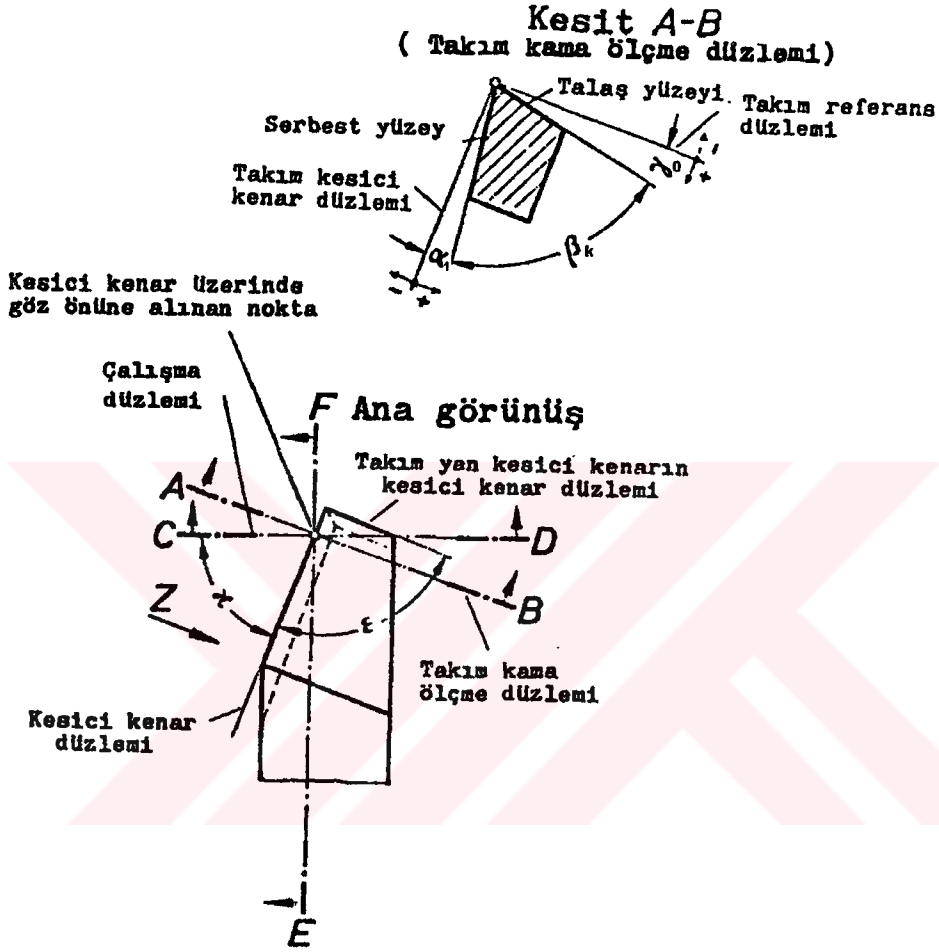
Kesici kenar düzlemi, kesici takımın ana kesici kenarını içeren ve takım referans düzlemine dik olan bir düzlemdir (Şekil 3.13).

Kama ölçme düzlemi, kesici kenar düzlemine ve takım referans düzlemine dik olan bir düzlemdir (Şekil 3.13).

Çalışma düzlemi, takım referans sisteminde kesici kenarın belirli bir noktasından geçen, takım referans düzlemine dikey durumda bulunan ve kabul edilen ilerleme yönünü içeren, dolayısıyla takımın sap eksenine dik olan bir düzlemdir. Kama ölçme düzleminde ölçülen açılar aşağıda anlatılmıştır.

Serbest açı (α_1), serbest yüzey ile kesici kenar düzlemi arasındaki, ölçme düzleminde ölçülen

açıdır (Şekil 3.14). Bu açı, serbest yüzeyle işlenen yüzey arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacıyla düzenlenir. Açı çok küçük olursa takımla parça arasındaki sürtünme yolu uzar ve meydana gelen ısı o oranda artar. Diğer taraftan gereksiz yere büyük serbest açısı, sabit talaş açısı için, kama açısının küçülmesine ve bu nedenle kesici ağzın zayıflamasına sebep olur. Serbest açının değeri genellikle $4^{\circ} - 10^{\circ}$ arasında değişir.



Şekil 3.14 Kama ölçme düzlemindeki açılar

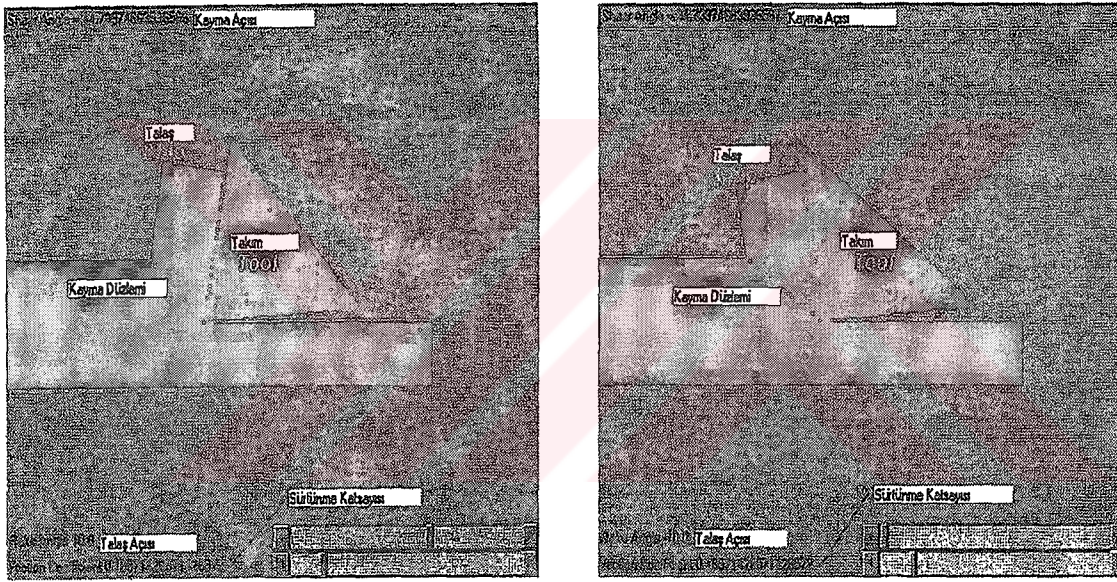
Kama açısı (β_k), talaş yüzeyi ile serbest yüzey arasındaki ölçme düzlemi üzerinde ölçülen açıdır (Şekil 3.14). Kama açısının alabileceği en küçük değer sınırlanmıştır. Aksi halde kesici uç çok zayıflar ve kesme kuvvetine mukavemet gösteremez. Ayrıca zayıf bir kamada ısı birikimi çok fazla olup, yüksek kesme hızlarında kesici ucun sıcaklığı çok artar.

Talaş açısı (γ_0), talaş yüzeyi ile takım referans düzlemi arasındaki ölçme düzlemi üzerinde ölçülen açıdır (Şekil 3.14). Bu açı pozitif veya negatif olabilir. Büyük talaş açıları, uygun kesme hızlarında akma talaşı oluşturur. Çünkü bu durumda talaş sıkışması küçük olup kesme

kuvveti ve gerekli talaş kaldırma gücü azalır. Kama ölçme düzleminde ölçülen serbest, kama ve talaş açılarının toplamı 90 derecedir [Özgürler,2001].

Daha önce anlatılan kayma açısı teorilerine ve yapılan deneysel çalışmalara göre, talaş açısı artırıldığında kayma açısının da arttığı gözlenmiştir. Lee ve Shaffer'in ortaya çıkardığı denkleme (3.33) göre, talaş açısı artarsa kayma açısı da artar.

1998 yılında Barney E. Klamecki bu konuyla ilgili animasyon programı yaptı ve İnternet de bu program yayınlandı. Animasyondan çekilen fotoğraflar Şekil 3.15'de görülebilir. Sürtünme katsayısı sabit tutularak talaş açıları değiştirilmiştir. Talaş açısı 10 derece iken kayma açısı 44.7 derece, talaş açısı -10 derece iken kayma açısı 34.7 derece olmuştur. Yani, talaş açısı arttıkça kayma açısı da artmıştır [Klamecki,1998].



Şekil 3.15 Talaş açısının kayma açısına etkisi (İnternet)

G. Boothroyd talaş açısı ve kayma açısı arasındaki ilişkiyi bulmak için deneyler yapmıştır. Kullanılan iş parçasının malzemesi 85/15 prinç , kesici takım H.S.S, kesme hızı 3.96 m/dak. deney şartları olarak seçilmiştir. Talaş kaldırma esnasında herhangi bir sıvı kullanılmamıştır. Deneyden çıkan sonuçlar Çizelge 3.4'de görülebilir.

Çizelge 3.4 Farklı talaş açılarında kayma açıları

Talaş Açısı (Derece)	Kayma Açısı (Derce)
30	17.5
35	21
40	24
45	28.5

Çizelge incelendiğinde, talaş açısı arttıkça kayma açısının da arttığı anlaşılır [Boothroyd,1970].

3.2.2 Sürtünme Katsayısı

Herhangi bir katı cismin yüzeyi kafi derecede büyütülürse, pürüzlü olduğu ve bazı yerlerde küçücük tepelere ve başka yerlerde çukurlara sahip olduğu görülür. Eğer iki yüzey birbirlerine karşı bastırılırsa, bu pürüzlülükler kısmen birbirlerine girerler; temaslar özellikle sivri yerlerde buluşur ve buraları, uygulanan kuvvete karşı gelmeğe yetecek bir temas yüzeyine sahip oluncaya kadar, yassılaştır. Bu yüzey pürüzlülükleri nedeniyle, bir yüzeyin diğeri üzerinde kaymasına karşı bir direnç doğar. Kayma sürtünmesi adı verilen bu direnç, temas eden yüzeyler birbirlerine karşı daha kuvvetli bastırılınca artar. Kayma sürtünmesi halinde bulunan metal yüzeylerde, basınç artırıldığında temas yerlerinde yüksek sıcaklıklar ortaya çıkar ve bu kısımları kaynaşabilir. Sürtünmesiz ya da kaygan denilen bir yüzey, pratikte hiç olmayan ideal bir durumu gösterir.

Bir cismin başka bir cisim üzerine uyguladığı sürtünme kuvveti, bu iki cismin yüzeylerini birbirine karşı bastıran normal kuvvetle orantılıdır.

O halde, temas yüzeylerinde normal kuvveti ile birbirine karşı bastırılan iki yüzey arasındaki en büyük sürtünme kuvveti F' ise $F' \propto N$ 'dir, ya da μ bir orantı sabitesi olmak üzere,

$$F' = \mu N \quad (3.67)$$

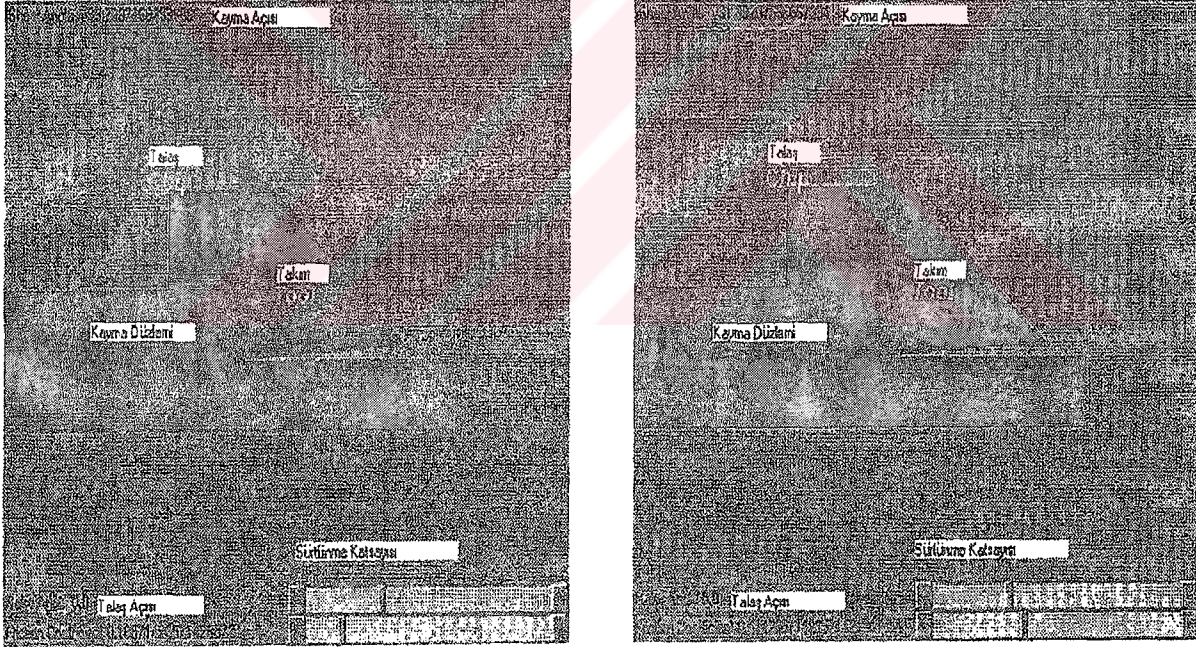
sürtünme kuvveti bağıntısı elde edilir [Kürkçüoğür,1977].

Talaş kaldırma işleminde oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyinden geçerken, talaş akışının tersi yönünde sürtünme kuvveti oluşur. Kronenberg'in sürtünme katsayısını içeren açı bağıntısı aşağıda görülebilir.

$$\tan \beta = \frac{\cos \gamma_0}{e^{\mu(\frac{\pi}{2} - \gamma_0)} - \sin \gamma_0} \quad (3.68)$$

denklem (3.68)'e göre, talaş açısının (γ_0) sabit olduğu düşünülürse, sürtünme katsayısı (μ) artırıldığında kayma açısı (β) azalır. Yani, kayma açısı ile sürtünme katsayısı ters orantılıdır.

İnternet'den Barney E. Klamecki'nin animasyon programından çekilen fotoğraflar Şekil 3.16'da görülebilir. Şekilde talaş açısı sıfır olarak alınmıştır. Sürtünme katsayısı 0.186'dan 0.514'e çıkarıldığında, kayma açısı 39.7'den 31.39'a düşer. Sürtünme katsayısı arttığında kayma açısı azalmıştır. Eğer talaş kaldırma işleminde yağlama sıvıları kullanılırsa sürtünme katsayısı düşeceğinden, kayma açısı artar [Klamecki,1998].



Şekil 3.16 Sabit talaş açısında sürtünme katsayısının kayma açısına etkisi

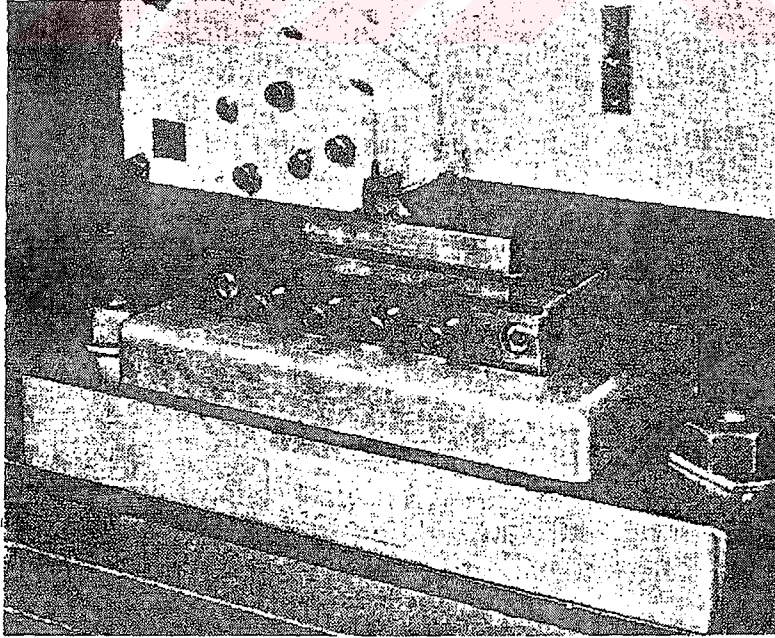
Talaşlı imalatta sürtünme katsayısının bilinmesi önemli olduğu için, M.C.Shaw bu konuyla ilgili çalışmalar yapmıştır. Yapılan deney koşulları Çizelge 3.5'de görülebilir.

Çizelge 3.5 Shaw'ın deney koşulları

Kesici Takım	H.S.S
İş Parçası	Çelik
Talaş Açısı (Derece)	15
Boşluk açısı (Derece)	5
Kesme Derinliği(mm)	0.05
Kesme Hızı(m/dak.)	0.013

Bahsedilen şartlar altında sürtünme katsayısını bulmak amacıyla, dinamometre bağlanmış deney düzeneği Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Deneyde kullanılan yağlama sıvılarının sürtünme katsayıları, hesaplamalardan sonra Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Örnek olarak, mineral yağın sürtünme katsayısı ($\mu = 0.18$) denklem (2.1)'de kullanılırsa ($\mu = \tan \eta$), sürtünme açısı (η) 10.20° olur.



Şekil 3.17 Sürtünme katsayısı bulma düzeneği

Çizelge 3.6 Deneyde kullanılan yağlayıcıların sürtünme katsayısı

Yağlayıcılar	Sürtünme Katsayısı
Mangan sülfür	0.53
Su	0.39
Hava	0.38
Kurşun Tozu	0.19
Mineral Yağ	0.18
Grafit Tozu	0.15
Molibden sülfat	0.10

Çizelgeden mangan sülfürün sürtünme katsayısının havanın sürtünme katsayısından büyük olduğu görülmektedir. Bu tip yağlayıcılara, negatif yağlayıcı denir [Shaw,1961].

3.2.2.1 Soğutma – Yağlama Sıvıları

Soğutma –yağlama sıvıları kullanıldığında, talaş ve kesici takım temas bölgesindeki sürtünme katsayısı azalır. Sürtünme katsayısının azaldığında kayma açısının arttığı anlatılmıştı.

Metal kesme sıvıları kesme ve taşlama işlerinde her şeyden önce soğutucu olarak kullanılırlar. Yapılan ölçümler, metal kesme işleminde kesme dışında tüketilen enerjinin %97'sinin ısı enerjisine dönüştüğünü göstermiştir. Kesici sıvıları bir yandan soğutucu görevi yaparak ısının düşmesini sağlarken, bir yandan da yağlama görevi yaparak ısının yükselmesini önler ve talaşın kesme bölgesinden uzaklaşmasını sağlar. Uygun bir kesme sıvısının kullanılmaması halinde yükselen ısı, kesici takımın sertliğini kaybetmesine neden olur. Diğer taraftan, işlenen iş parçasının ısınarak genişmesi, boyut ve tolerans kontrolünü güçleştirir.

Kesici takımın ömrü işleme sıcaklığı ile ters orantılıdır. Bazı işlerde çok yüksek sıcaklıklar meydana gelir. Bu tür işlerde soğutma yapılması şarttır. Bu da sıcaklık oluşumunu sınırlandıran kesme sıvılarının kullanılması ile mümkün olur.

Genel olarak kesme sıvıları emülsiyon yağları, kesme yağları ve kimyasal veya sentetik

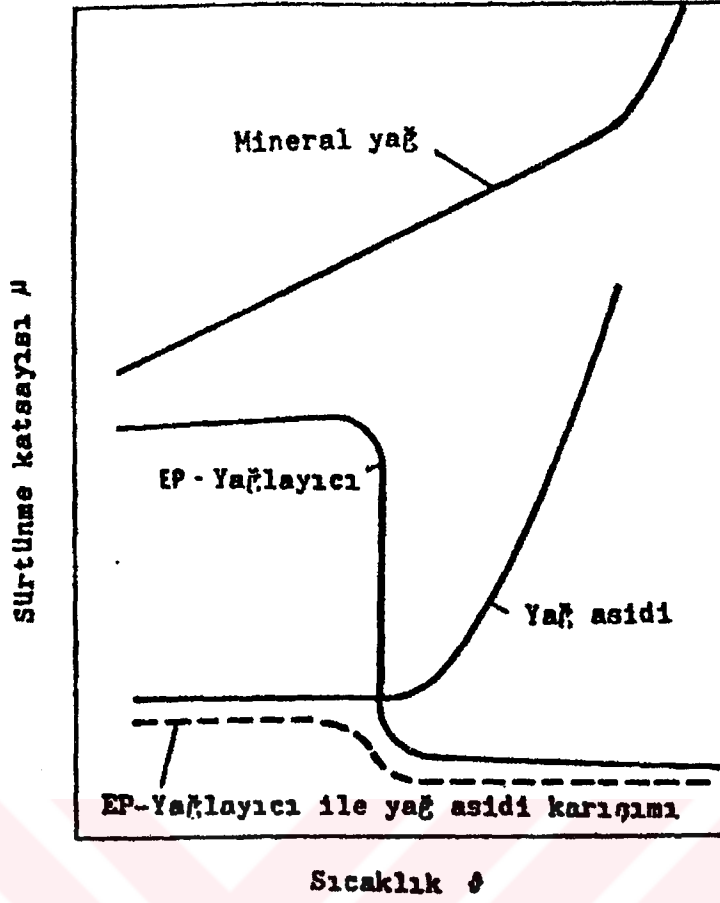
kesme sıvıları olmak üzere üç gruba ayrılabilir:

Emülsiyon kesme sıvıları; bor yağı adını da taşıyan bu sıvılar, içinde emülsiyonu kolaylaştıran katkıları bulunan su-yağ karışımıdır. Soğutma kabiliyeti yüksek olan bu sıvılara, polar aditifler veya EP aditifleri eklenirse, yağlama özellikleri büyük ölçüde iyileşir. Genellikle süt renginde olan bu sıvılar; yüksek soğutma, temiz çalışma ortamı sağlama, ekonomik olma, ateşleme tehlikesi olmama ve insan sağlığına az zararlı olmaları gibi özelliklere sahiptirler. Bu nedenle emülsiyon kesme sıvıları, çok ağır talaş kaldırma işlemleri dışında, yaklaşık tüm kesme hızlarında ve işlemlerde kullanılır. Bu sıvılar bazı durumlarda köpürme yapabilir; bu gibi durumlarda köpüklenmeyi önleyici aditifler kullanılır.

Kesme yağları; genellikle mineral yağlar veya bunlara katılan domuz yağı, kunduz yağı gibi polar aditifli veya klorit gibi kimyasal aditifli yağlardır. Bu bakımdan kesme yağları; saf mineral yağlar, yağlı mineral yağlar, kükürtlü mineral yağlar, kloritli mineral yağlar, kükürtlü kloritli mineral yağlar gibi isimler taşırlar. Mineral yağlar genellikle alüminyum, magnezyum ve kükürtlü otomat çelikleri için kullanılır. Aditifli yağlar ise, vida açma, diş açma, broşlama gibi ağır işlemlerde kullanılır. Ancak aditifli yağların fiyatları yüksek, ateşleme tehlikesi ve insan sağlığına zararlı olduğundan, kullanılma alanları sınırlıdır.

Kimyasal veya sentetik kesme sıvıları; suya bazı kimyasal maddelerin katılması ile elde edilirler. Görünüşleri emülsiyonlara göre çok daha berrak olan bu sıvılar, katılan maddelere göre aditifli ve aditifsiz olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Frezeleme, broşlama, raybalama, testere ile kesme işlemlerinin yanında, otomat tezgahlarında da kullanılır. Yağlayıcı özelliklerini iyileştirmek amacıyla içlerine bir miktar yağ bulunan sentetik kesme sıvıları da vardır; bunlara yarı kimyasal kesme sıvıları denir.

Bazı soğutucuların farklı sıcaklıklarda sürtünme katsayısına etkisi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

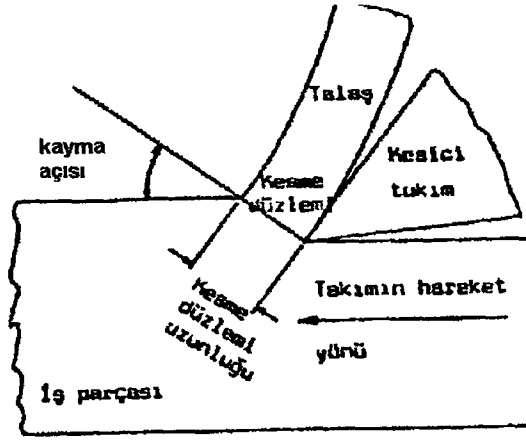


Şekil 3.18 Bazı maddelerin sürtünme katsayısına etkisi

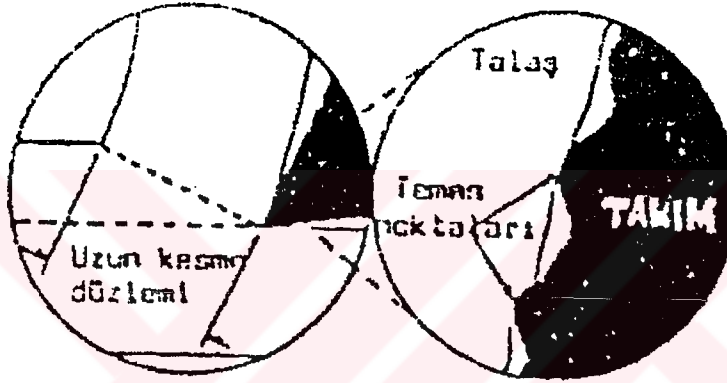
Isının, plastik deformasyondan ve kesici takım yüzeyi ile kesilen metal arasındaki sürtünmeden oluştuğu ve yüksek değerlere ulaştığı belirtilmişti. Kesme sıvısının yağlayıcı özelliği ile bu sebepler ortadan kaldırılır ya da etkileri en aza indirilir.

Metallerin plastik şekil değiştirmesi kayma düzlemi boyunca olmaktadır (Şekil 3.19). Oluşan sıcaklığın azaltılmasının en uygun çözümlerinden biri de kayma açısının büyütülmesi ile talaş kalınlığının küçültülmesidir. Böylelikle kayma düzleminin boyuda azaltılmış olur. Sonuç da ortaya çıkan ısı da azaltılmış olur.

Şekil 3.20'de hem kayma düzlemi uzun, hem de kesme sıvısı kullanılmayan bir talaş kaldırma işlemi görülmektedir. Büyütülmüş şekilde görüldüğü gibi, takım yüzeyindeki yüzey bozukluğu sürtünmeye ve talaş birikmesine neden olacaktır. Ayrıca, burada sürtünmenin bir başka sebebi de kayma düzleminin uzun olması, kayma açısının küçük olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, sıcaklık çok yükselecek ve kesici takımında krater meydana gelecektir.

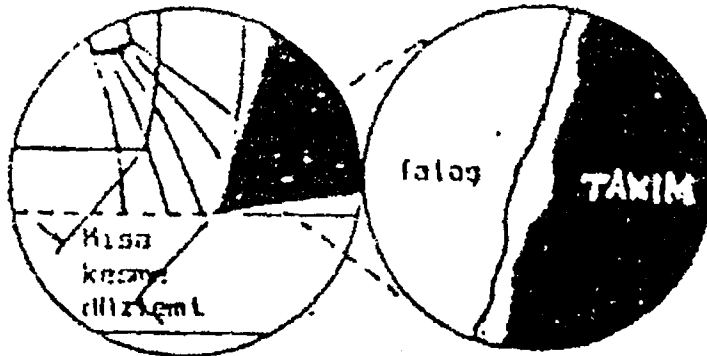


Şekil 3.19 Talaşlı işlemdе kayma düzlemi



Şekil 3.20 Uzun kayma düzlemi ve küçük kayma açısı

Aynı kesme şartlarında kesme sıvısı kullanıldığında; sürtünme katsayısı düştüğü için, kısa kayma düzlemi ve büyük kayma açısı Şekil 3.21’de görülmektedir [Özgürler,2001].



Şekil 3.21 Kısa kayma düzlemi ve büyük kayma açısı

3.2.2.2 Takım Malzemesi

Sürtünme katsayısı düşük olan kesici takımla kesme işlemi yapıldığında, kayma açısı daha büyük olur. Takımın sertliği ve sıcaklığa dayanımı arttıkça, talaş yüzeyinde daha az aşınma olacağından, sürtünme katsayısı düşük olur. Kesici takımlar değişik malzemelerden imal edilirler. Bunlar:

Takım çelikleri; endüstriyel anlamda ilk kullanılan kesici malzemelerdir. Takım çeliklerinin sertliği, uygulanan ısı işlem ile elde edilir. Malzeme östenitleşme sıcaklığına kadar ısıtılır ve su banyosunda ani soğutularak martenzitik yapı elde edilir. Daha sonra menevişlenir. Takım çelikleri alaşımlı ve alaşımsız olarak gruplanır. Alaşımsız takım çelikleri, yaklaşık %1.25C ve az miktarda da Si ve Mn içerirler. Alaşımlı takım çelikleri, yaklaşık %1.25C, %1.5Cr, %1.2W, %0.5Mo ve %1.2V içerir. Alaşımsız takım çeliklerinin sertlik ve aşınma dirençleri martenzitik dokuya bağlıdır. Alaşımsız takım çelikleri, kesit alanı boyunca sertleşemezler. Sertleşme parça yüzeyinde olur. Çekirdek bölge yumuşak kalır. Sıcakta sertlik hızla düşeceğinden bu takımların kullanım alanları; eğeler ve ahşap işleminde kullanılan testereler ve benzeri takımlar ile sınırlı kalır. Bu takımlar, 200 dereceye kadar kullanılırlar. Alaşımlı takım çeliklerinin bileşiminde Cr, W, Mo ve V elementleri bulunur. Bu çeliklerde kritik soğuma tüm kesit boyunca sertleşebilirler. Alaşımlı takım çelikleri ağırlıklı olarak, fazla zorlamanın olmadığı raybalama ve diş açma gibi işlemlerde kullanılırlar [Özgürler,2001].

H.S.S (Hız çelikleri); bu takımların takım çeliklerine göre üstünlükleri, yaklaşık 600 dereceye ulaşan meneviş dayanımı ile 67RC olan yüksek sertliğinden kaynaklanır. Bileşiminde yüzde olarak 0.6-1.6C, 4Cr, 7-10W, 4-5Mo, 0.9-3V ve 85-89Fe elementleri vardır. Sınıflandırılması; S harfi ve bunu izleyen W, Mo, V, C sıralamasıyla gerçekleştirilir (Örneğin; S 10-4-3-10). Hız çelikleri Ti-Nitrür kaplanarak, sıcaklığa dayanımı ve aşınma dayanımı gibi özelliklere sahip olurlar. Ayrıca kaplanmış takım çeliklerinin sürtünme katsayısı daha düşük olduğundan dolayı, talaş kaldırma işleminde oluşan kayma açısı değeri daha büyük olur [Özgürler,2001].

Sert metallere; sinterlenmiş malzemeler grubunda olup, karbürlerden oluşmaktadır. Metal tozlarının bir bağlayıcı fazla ısı etkisi altında birleşmesinden oluşur. Bağlayıcı fazın görevi, kırılma ve gevrek metal tozlarını katı bir cisim halinde tutmaktır. Karbürler ise dokuya yüksek bir aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklıkta sertlik özelliği kazandırır. Sert metallerin hız çeliklerine oranla üstünlükleri; yüksek sertliğe sahip olması, yüksek basınç zorlanmalarına karşı olan dayanımı, yüksek sıcaklıkta aşınma direnci ve dokularında karbürlerin dağılımı açısından tamama yakın homojen bir dağılımın bulunmasıdır.

Kalıplarda üretilen takımlar için geçerli olan yöntem, önceleri yalnızca ön sinterleme yöntemi idi. Bu yöntemde, kobalt ve karbürlerin toz biçiminde gerekli oranlarda karıştırılması ve 900 derece dolayında ön sinterlenmesi yapılmıştır. Böylece işleme için gerekli dayanım değerleri iyileştirilmiştir. Elde edilen ön sinterlenmiş kütle, mekanik bir biçim değiştirme ile istenilen forma getirilmiş ve koruyucu gaz atmosferi ya da vakum fırınlarında 1400-1600 derece aralığında son sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

Alaşım elemanlarının üstün özelliklerinden yararlanmak için, kaplanmış metaller geliştirilmiştir. Bunlar görece olarak tok ve sünek olan bir ana sert metalden oluşurken, üzerileri ince, sert, aşınmaya dirençli ve ince taneli bir tabaka ile kaplanmıştır. Sözü edilen bu sert tabakalar, karbürlerden (TiC), nitrürlerden (TiN), karbonitrürlerden (TiCN) ya da oksitlerden (Al_2O_3) oluşabilir [Özgürler,2001].

Sert metaller kaplandığı zaman, aşınma dayanımı artar ve sürtünme katsayısı düşeceğinden kayma açısı yükselir.

Seramikler; ana malzemesi alüminyum oksiti olan sinterleme yolu ile imal edilen malzemelerdir. İçerdiği alüminyum oksit in saflığı %99.7 civarında, en yüksek sertliğe sahip, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı çok dayanıklı olan ve yüksek kesme hızlarında kullanılabilen seramiklerin darbe ve eğilme mukavemetleri çok düşüktür. Bu nedenle ince veya çok ince tornalama gibi işlemlerde kullanılabilirler. 89-95 RA sertliğine sahip olan seramikler, 1800 derece sıcaklıkta kullanılabilir.

Seramikler bileşenlerine göre üç gruba ayrılabilirler. Bunlar: Saf alüminyum oksidi, sermet ve alüminyum oksit ile WC, TiC gibi metalik karbürlerin karışımıdır [Akkurt,1998].

Elmaslar; en sert malzeme olan elmas, sıcaklığa ve aşınmaya karşı çok dayanıklı fakat çok kırılğan ve pahalı bir malzemedir. Kırılğan olduğu için ince veya çok ince talaş kaldırma işlemlerinde kullanılır. İşleme sıcaklığı 1500 derece kadardır.

Takım malzemesi olarak, kıymetli taşlardan ayrı bir grup oluşturan sanayi elmasları kullanılır. Bunlar pratikte tek parça, çok kristalli elemanlar veya toz şeklinde uygulanır. Çok kristalli elemanların ana gövdeleri sert metaldir. Gövdenin ağız kısmına çok yüksek basınçlarda (69kbar) ve çok yüksek sıcaklıklarda ($2200^{\circ}C$), çok küçük elmas tanecikleri kristalize edilir. Bu elemanlar takım sapına lehim yolu ile tespit edilirler ve oldukça kalın talaş kaldırabilirler [Akkurt,1998].

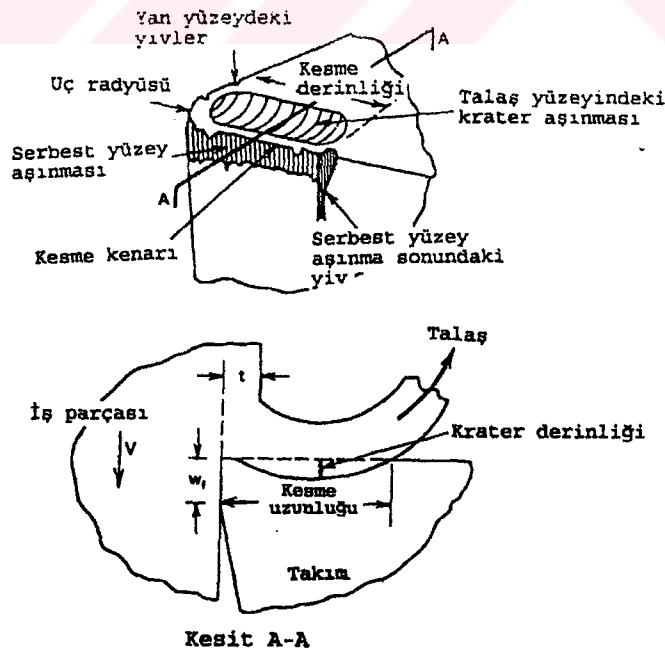
Sonuç olarak, aşınma mukavemetleri ve sertlikleri yüksek olan takımların aşınmaları az

olacağından dolayı yüzey pürüzlülükleri düşük olur. Bu nedenle, sürtünme katsayısı düşeceğinden kesmede oluşan kayma açısı değeri büyük olacaktır. Diğer taraftan takımların ince işleme kalitesi de kayma açısını etkileyen faktörlerden birisidir. Yani iyi işlenmiş bir takım ile kesme yapıldığında ortaya çıkan kayma açısı, iyi işlenmiş takıma ait kayma açısından küçük olacaktır.

3.2.2.3 Kesici Takım Aşınması

Talaş kaldırma işlemi sırasında, her yükleme türü ve süresine bağlı olarak kesici takımda kendisine özgü aşınma şekilleri ortaya çıkar. Şekil 3.22'de bir kesici takımda oluşabilen başlıca aşınma şekilleri gösterilmiştir. Kesici takım talaş yüzeyinde (Krater aşınması) ve serbest yüzeyinde (Serbest yüzey aşınması) aşınmaya uğrar; yan serbest yüzeyindeki oksidasyon aşınması ise ancak ikinci derecede bir önem gösterir. Pratikte sözü edilen ilk iki durum aşınmayı belirleyici kriter olarak kullanılır.

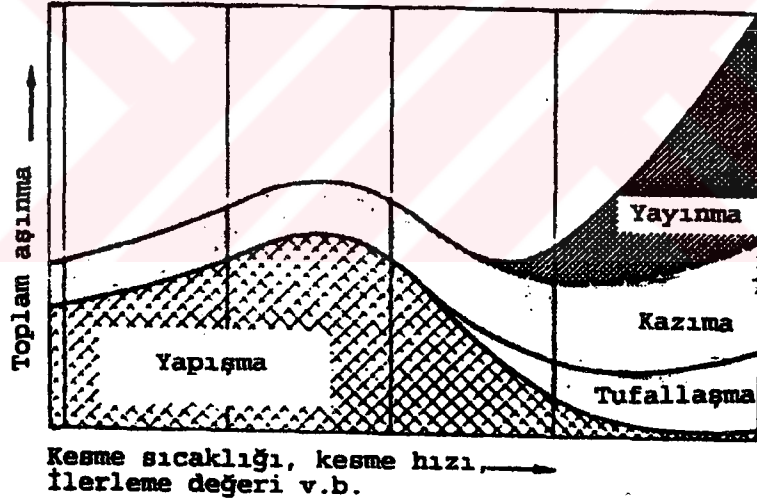
Krater aşınması, takımın talaş yüzeyi boyunca akan talaşın etkisi ile meydana gelen bir kraterin oluşması ile karakterize edilen talaş yüzeyindeki aşınma, talaşın alt kısmının şekline uyar ve sadece talaş-takım temas bölgesinde ortaya çıkar. Ayrıca kesici ağza yakın bir bölge daha az aşınır. Talaş kaldırmada maksimum sıcaklık, takımın talaş yüzeyinde uçtan itibaren, belirli bir mesafede meydana gelmektedir. Yüksek kesme hızlarında bu sıcaklıklar 1000°C civarına ulaşabilir.



Şekil 3.22 Takım aşınmasının geometrisi

Bu yüksek sıcaklıklarda hız çeliği takımlar, takım malzemesinin yumuşamasından dolayı çok çabuk aşınırlar. Sert metal takım malzemeleri ise, her ne kadar bu malzemeler bu sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilseler de, yayınma ortaya çıkar ve hızlı aşınmaya sebep olur. Deneysel çalışmalarda kraterin maksimum derinliği kesici takımın krater aşınmasının bir ölçüsü olur ve normal olarak yüzey ölçme cihazları yardımı ile saptanabilir. Çok yüksek kesme hızlarının uygulandığı çalışma şartlarında krater aşınması, kesici takımın ömrünün saptanmasına yarayan bir faktör olmaktadır. Böyle durumlarda krater şekline dönüşme o kadar büyük ve önemli olabilir ki, sonuçta takımın kesici ağzı zayıflar ve sonuçta kırılır. Diğer bir aşınma şekli de serbest yüzey aşınmasıdır. Serbest yüzey aşınması, iş parçasının yeni işlenmiş yüzeyi ile takımın serbest yüzeyi arasındaki temas bölgesinde meydana gelen sürtünmeden oluşur. İş parçasının rijitliği nedeni ile aşınma bölgesinin genişliği, genellikle aşınma miktarının ölçüsü olarak alınır ve kolayca atölye mikroskobu yardımı ile ölçülebilir.

Takımın kesici kenarı, mekanik ve termik zorlamalar sonucu kırılmalar, enine çatlaklar, tarak şeklindeki çatlaklar ve plastik şekil değiştirme nedeni ile bozulur. Şekil 3.23’de Aşınma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Talaş kaldırmada aşınma şekilleri

Kazıma aşınması diye bilinen aşınma şekli, talaşın altındaki çok sert partiküllerin takımın talaş yüzeyinden geçerken takım malzemesini mekanik etki sonucu kazımasından ve bir nevi aşındırmasından meydana gelir. Bu sert partiküller, stabil halini kaybetmiş yığılma ağzının gerinim ile pekleşmiş parçacıkları, yapışma aşınması sonucu koparılmış olan kesici takımın sert parçacıkları ve hatta parçanın içerisindeki bazı sert kısımlar da olabilir.

Yapışma; talaş oluşumu sırasında talaş yüzeyi ile talaş alt kısmı arasındaki arakesiti oluşturan malzeme tabakaları en şiddetli plastik şekil değiştirmeye uğrarlar. Yeni oluşmuş yüzeyler ısınmadan dolayı ve bunun yanı sıra şekil değiştirmeden dolayı çok yüksek düzeyde aktif durumda bulunurlar. İşte bu nedenle talaşlı işleme sırasında, iki metal arasında pres kaynaklarının oluştuğu görülmektedir. Aşınma iki metal arasındaki kaynaklaşmış noktaların kopmaları sonucunda oluşur.

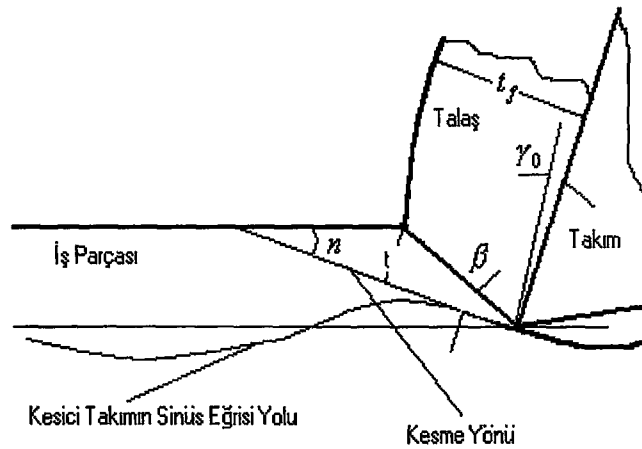
Yayınma; metalik kristallerdeki atomların, yüksek atomik konsantrasyonlu bir bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye geçmeleri nedeniyle meydana gelir. Yayınma hızı, sıcaklıktaki artışla üstel olarak artar. Yayınma yalnızca sert metal kesici takımında olur.

Tufallaşma; kesme işleminden sonra kesici takım incelendiğinde, temas yüzeylerinin yakınlarında renklenmelerin oluştuğu görülür. Bu renklenmeler kesici malzemenin tufallaşmasına bir kanıttır. Sert metaller $700-800^{\circ}$ 'de tufallaşmaya başlar [Özgürler,2001].

Anlatılan aşınma sebeplerinden dolayı takımında aşınma oluşur. Bu nedenle, talaş-takım arakesitinde sürtünme katsayısının artacağından kayma açısı değeri düşecektir.

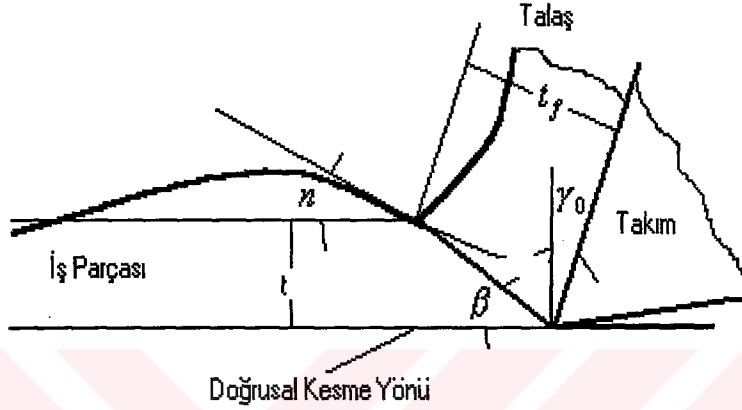
3.2.3 İş Parçası Yüzey Eğimi ve Kesici Takım Salgısı

İş parçasından talaş kaldırılırken kesici takım doğrusal hareket etmiyorsa, yani takım dalgalı hareket ediyorsa, bu duruma salgı denir. Daha çok frezeleme de olduğu gibi, kesme kuvvetinin değişmesinden oluşur. Salgı, talaş kaldırma esnasında kendiliğinden meydana gelir ve bunu ortaya çıkarmak kolay olmaz. Talaş kaldırma işleminden kaynaklanan iki tip salgı vardır. Şekil 3.24'de görülen talaş kaldırma işlemi, birinci tipe aittir. Bu işlemde iş parçası yüzeyi düzgün ama, kesici takım ilerlerken sinüs eğrisi şeklinde hareket eder.



Şekil 3.24 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklinde hareketi

İkinci tip salgı oldukça karmaşıktır. Fakat bu tip salgılı kesme işlemi daha yaygın görülmektedir. Bu tip kesme şeklinde, kesici takımın ilerlemesi doğrusaldır. Talaş kaldırma işlemi gerçekleşirken, ani talaş kesiti değişmesinden dolayı titreşim meydana gelir. Genellikle kesici takım, bir önceki işlemde kalan kesme izlerini aşarken, kesme kuvvetinde değişme olur. Bu nedenle titreşim ortaya çıkar. Dalgalı yüzeye sahip iş parçasının işlenmesinde, kesici takım doğrusal hareket eder fakat, iş parçasının yüzeyi sinus eğrisi şeklindedir (Şekil 3.25).

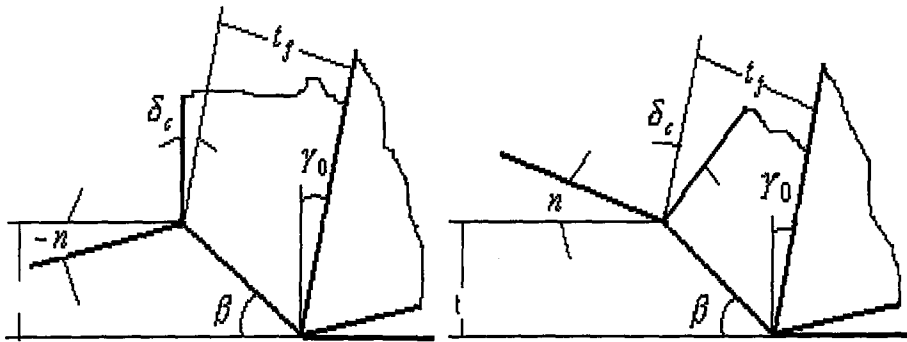


Şekil 3.25 Dalgalı yüzeyli iş parçasında kesme işlemi

Şekil 3.25'de dalgalı yüzeye sahip bir iş parçasından, talaş kaldırma işlemi gösterilmiştir. Tatbikatta her iki kesme tipi de vardır. Fakat, işlemleri kolaylaştırmak için, kesme tipleri ayrı ayrı incelenir ve elde edilen sonuçlar birleştirilir.

Her iki talaş kaldırma tipinde de kesilecek olan talaş kalınlığı değişmesinden dolayı, kesme kuvvetleri sürekli değişir.

İş parçasının yüzey eğimi, pozitif veya negatif olabilir. İş parçasının yüzeyine ait eğimler Şekil 3.26'da görülebilir.



Şekil 3.26 İş parçasının yüzey eğim durumu

Şekil 3.26 a'da iş parçasının yüzey eğiminin negatif, Şekil 3.26 b'de ise pozitif olduğu görülmektedir. Talaş tepe açısı (δ_c), aşağıdaki denklem şeklinde ifade edilmiştir.

$$\cot \delta_c = \tan(\beta - \gamma_0) \left\{ \frac{2 \sin \beta \sin(\beta - n)}{\sin 2(\beta - \gamma_0) \sin n} - 1 \right\} \quad (3.69)$$

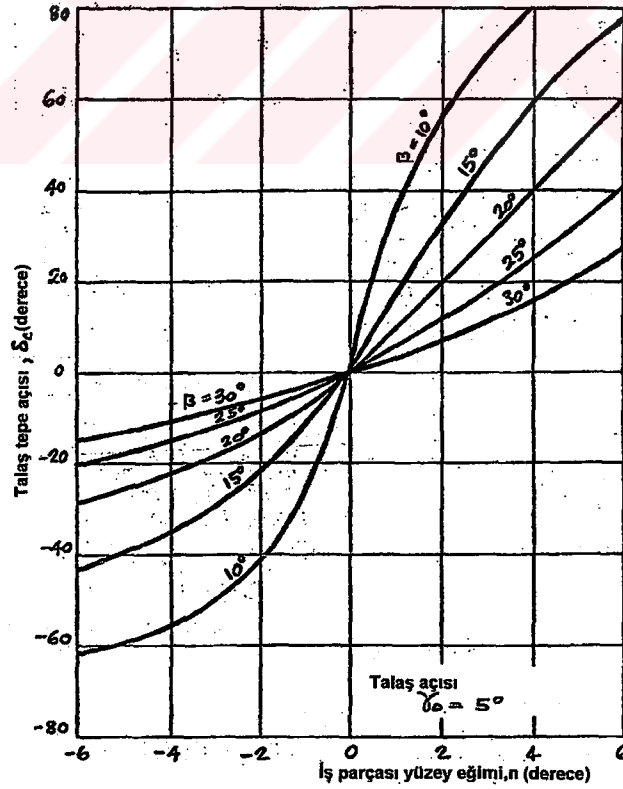
n : İş parçasının yüzey eğimi

β : Kayma açısı

γ_0 : Talaş açısı

Şekil 3.27'de iş parçası yüzey eğimi (n), kayma açısı (β) ve talaş tepe açısı (δ_c) arasındaki ilişki görülebilir. Talaş açısı 5 derece seçilmiştir. İş parçasının yüzey eğiminin kesme kuvvetine etkisi, büyük oranda kayma açısının değişmesine bağlıdır. İkinci derecede talaş açısına, kesme hızına ve yağlama koşullarına bağlıdır [Boothroyd,1970].

Sabit kayma açısı değerinde, yüzey eğimi artırılırsa talaş tepe açısı değeri de artar (Şekil 3.27). Pozitif eğimde ve sabit talaş tepe açısında, yüzey eğimi arttıkça kayma açısı değeri artar.



Şekil 3.27 Kayma açısının iş parçası yüzey eğimine ve talaş tepe açısına etkisi

Şimdiye kadar bir çok araştırmacı, iş parçası yüzey eğiminin kayma açısına olan etkisini araştırmışlardır. Field ve Merchant dalgalı yüzey kesme işlemine minimum enerji prensibini uygulayarak, yüzey eğimi ve kayma açısı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki denklem şeklinde ifade etmişlerdir.

$$2\beta + \eta - \gamma_0 - n = \text{sabit} \quad (3.70)$$

β_0 : İş parçasının yüzey eğimi sıfırken oluşan kayma açısı değeri

iş parçası yüzey eğimi sıfır olduğunda, denklem yeniden düzenlenmiştir.

$$\beta = \beta_0 + 0.5n \quad (3.71)$$

Shaw ve Sanghani'ye göre, kesme işlemine başlarken kayma düzlemi ile serbest yüzey 45 dereceyle kesişir. Bu nedenle denklem tekrar düzenlenir.

$$\beta = \beta_0 + n \quad (3.72)$$

Oxley daha küçük eğim açısı ile denklem (3.72)'yi teklif etmiştir. Bu durumda nümerik olarak, kesilmemiş yüzeyin eğiminin %20'sine eşit olacak şekilde, kayma açısı değişir.

$$\beta = \beta_0 + 0.2n \quad (3.73)$$

Wallace ve Andrew ise kayma açısının değişimini farklı yorumlamışlardır.

$$\beta = \beta_0 + cn \quad (3.74)$$

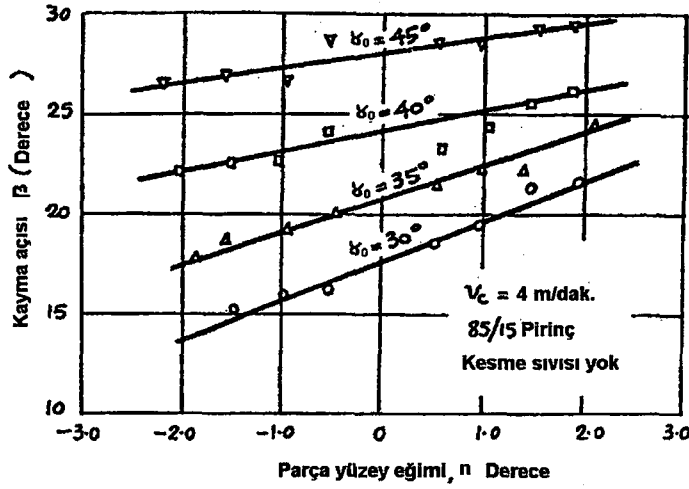
c : Tüm kesme koşullarındaki, malzemeye bağlı sabite

Teoride ve pratikte c 'nin yaklaşık 0.75 olduğu saptanmasına rağmen, bu değer 1 olarak kabul edilmiştir.

G.Boothroyd farklı kesme şartlarında, kayma açısı ve iş parçası yüzey eğimi arasındaki bağıntıların doğruluğunu araştırmak için, deneyler yapmıştır. Deneylerin yapılmasında hidrolik güç kullanmıştır. Deneyinde boşluk açısı 10° olan H.H.S kesici takım kullanmıştır. Kesme sıvısı kullanılmadı. Değişik kesme hızlarında ve talaş açılarında, iş parçasının yüzey eğiminin etkilerini incelemiştir. Talaş kaldırma işleminden önce ve sonra, iş parçasının yüzey eğimini mikrometre ile kontrol etmiştir. İş parçası malzemesi olarak 85/15 pirinç kullanılmıştır.

Sabit kesme hızında farklı talaş açıları için, iş parçası yüzey eğiminin kayma açısına etkisi

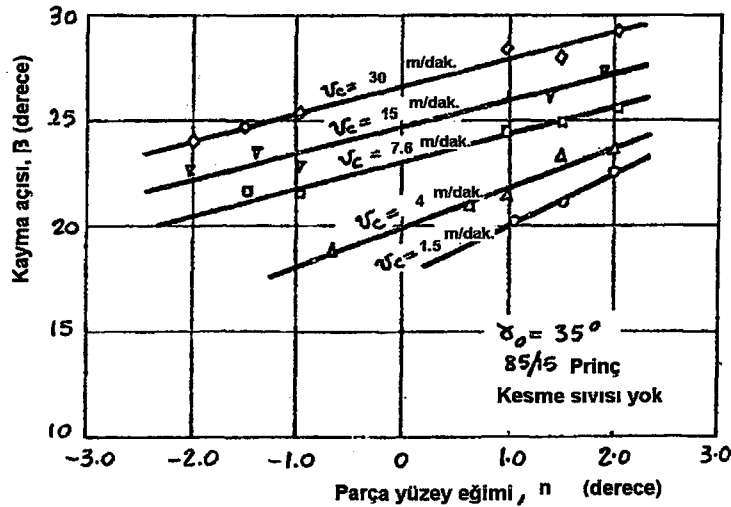
Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Farklı talaş açılarında yüzey eğiminin kayma açısına etkisi

Sabit kesme hızında ve talaş açısında, iş parçasının yüzey eğimi arttıkça kayma açısı da artar. Aynı zamanda sabit yüzey eğiminde, talaş açısı artırılırsa kayma açısı da artar.

Deneyin ikinci kısmında, talaş açısı sabit tutularak, farklı kesme hızları için, iş parçası yüzey eğiminin kayma açısına etkisi araştırılmıştır. Deney sonucu Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Sabit kesme hızında ve talaş açısında, iş parçası yüzey eğimi arttıkça kayma açısı da artar. Ayrıca, düz yüzeyli iş parçasında da kesme hızı artırılırsa kayma açısı da artar.



Şekil 3.29 Farklı kesme hızlarında kayma açısının değişimi

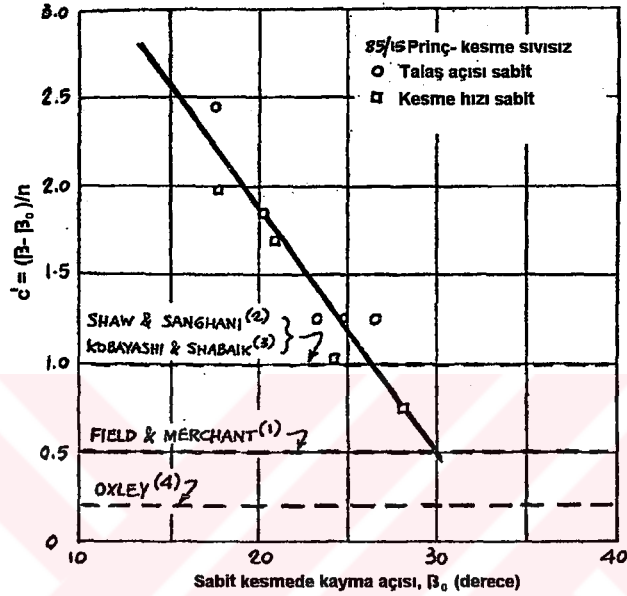
Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da kesme hızı ve talaş açısı arasında benzerlik olduğu

anlaşılmaktadır. Bu nedenle, denklem yeniden düzenlenebilir.

$$\beta = \beta_0 + c'n \quad (3.75)$$

c' : Sabit sayı

c' sabitini β_0 ve kesme koşulları etkilediği için, tekrar deneyler yapılmıştır. Araştırmacıların deney sonuçları Şekil 3.30'da görülebilir.



Şekil 3.30 Kayma açısının c' 'ne etkisi

Şekil 3.30'daki doğru, denklem haline getirilmiştir.

$$c' = A\beta_0 + B \quad (3.76)$$

$$\beta = \beta_0 + c'n$$

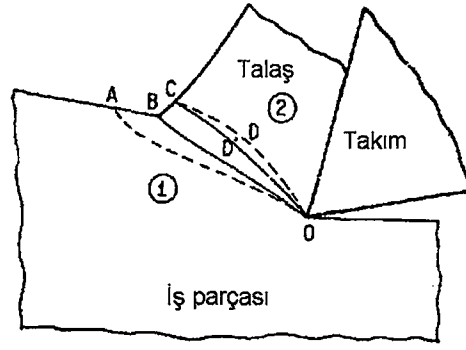
denklemler birleştirildiğinde,

$$\beta = \beta_0(1 + An) + Bn \quad (3.77)$$

denklemini elde edilir.

$A - B$: Malzemeye bağlı sabit katsayılar [Boothroyd,1970].

Bu konuyla ilgili olarak Shiro Kobayashi'de teorik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada, şematik kayma bölgesi deformasyonu Şekil 3.31'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 Talaş oluşumunda kayma bölgesi deformasyonu

Küçük kesme hızında oluşan deformasyon yukarıdaki şekilde görülebilir. OA noktaları arasında deformasyon başlar ve en büyük kayma gerilmesi OB çizgisi boyunca gerçekleşir. Gerilme, OD'Ç çizgisinde son bulur. Fakat kayma gerilmesi ODC çizgisine kadar devam edebilir.

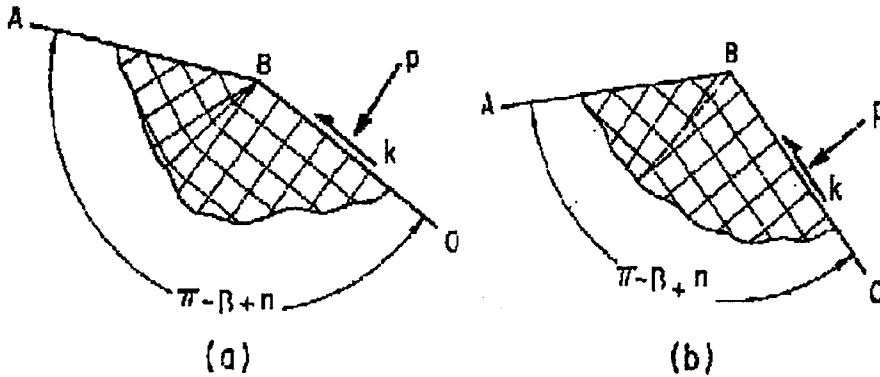
İş parçası yüzey eğimine göre, iş parçası kayma düzlemindeki gerilim durumları Şekil 3.32'de gösterilmiştir.

k : Kayma mukavemeti

p : Kayma düzlemindeki normal basınç

$$\beta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\pi}{2} - \frac{p}{k} \right) + n \quad \frac{p}{k} > 1 \text{ olduğunda} \quad (3.78)$$

$$\beta = \frac{\pi}{4} + \sin^{-1} \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{p}{k} \right) \right] + n \quad \frac{p}{k} < 1 \text{ olduğunda} \quad (3.79)$$



Şekil 3.32 Kayma düzlemindeki gerilim durumu: a. Pozitif eğim b. Negatif eğim

Kobayashi'nin deneylerinde Cincinnati marka freze tezgahı kullanılmıştır. Bu tezgaha bir fotoğraf makinesi monte edilmiştir (Şekil 3.33).

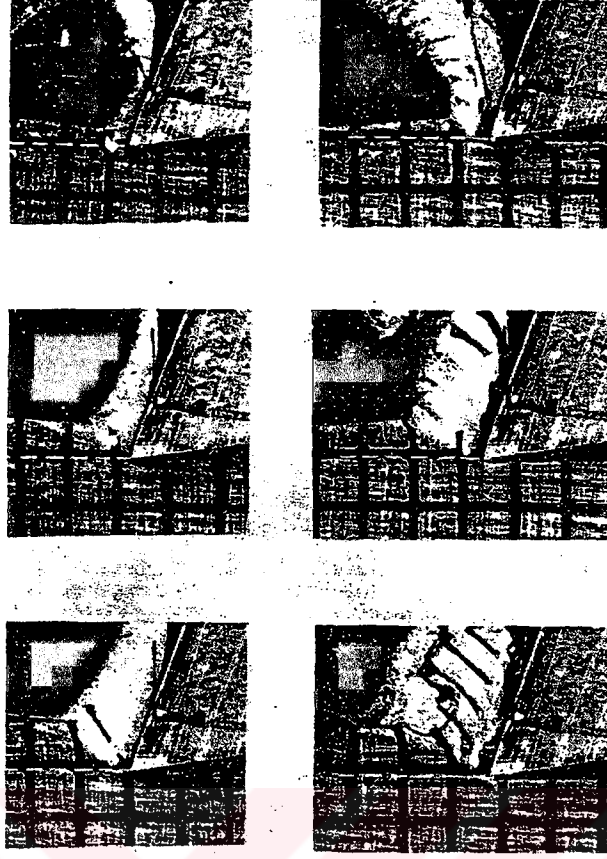


Şekil 3.33 Deney seti

Kesici takım olarak H.S.S ve iş parçası olarak SAE 1112 kalite soğuk haddelenmiş çelik, 10, 20 ve 30 derece talaş açıları ile 8 derece boşluk açısı kullanılmıştır. Talaşlı işleme parametrelerin kolay bulunması için, iş parçası yüzeyi çizilmiştir.

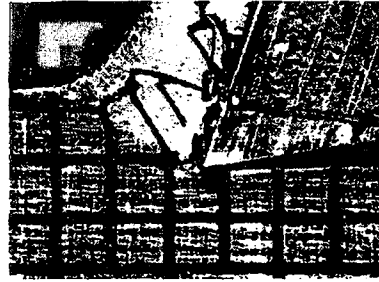
Yüzey eğimi olarak -5 , 0 , ve 5 derece kullanılmıştır. Deneyde CCl_4 kesme sıvısı kullanıldı. Bütün deneylerde normal kesme derinliği 0.13 mm alınmıştır. Kesme hızı ise 0.016 m/dak. seçilmiştir.

Talaş açısı 20 derece ve yüzey eğimleri $+5$, -5 derece seçilerek yapılan deneyden çekilen fotoğraflar Şekil 3.34'de gösterilmiştir. Birinci sütunda yüzey eğimi 5 derece, ikinci sütunda ise -5 derecedir. Kayma düzleminin uç noktası, eğimin tepe noktasına geldiğinde, negatif eğimli kesme işlemindeki serbest yüzey deforme olmaya başlar (Şekil 3.35). Yani pozitif eğimden negatif eğime geçerken kırık talaş formu olmaya başlar.



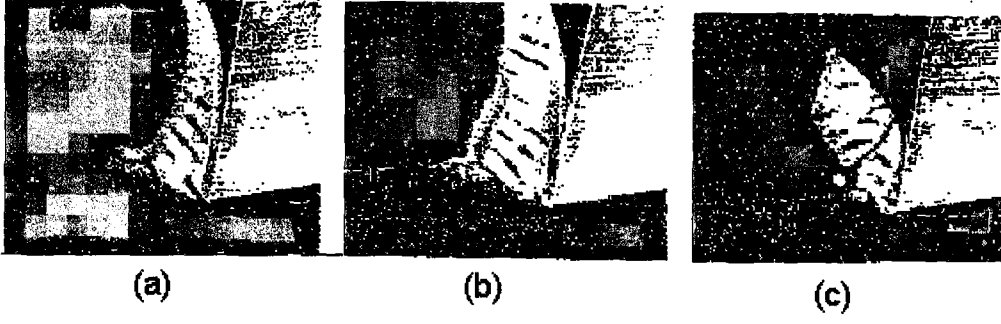
Şekil 3.34 Kayma açısının değişimi: 1. sütunda $n = +5^\circ$, 2. sütunda $n = -5^\circ$, $\gamma_0 = 20^\circ$

Yüzey eğimi pozitifken yapılan kesme işleminde çıkan kayma açısı, negatif yüzeyin kesilmesinde çıkan kayma açısından büyüktür (Şekil 3.34).



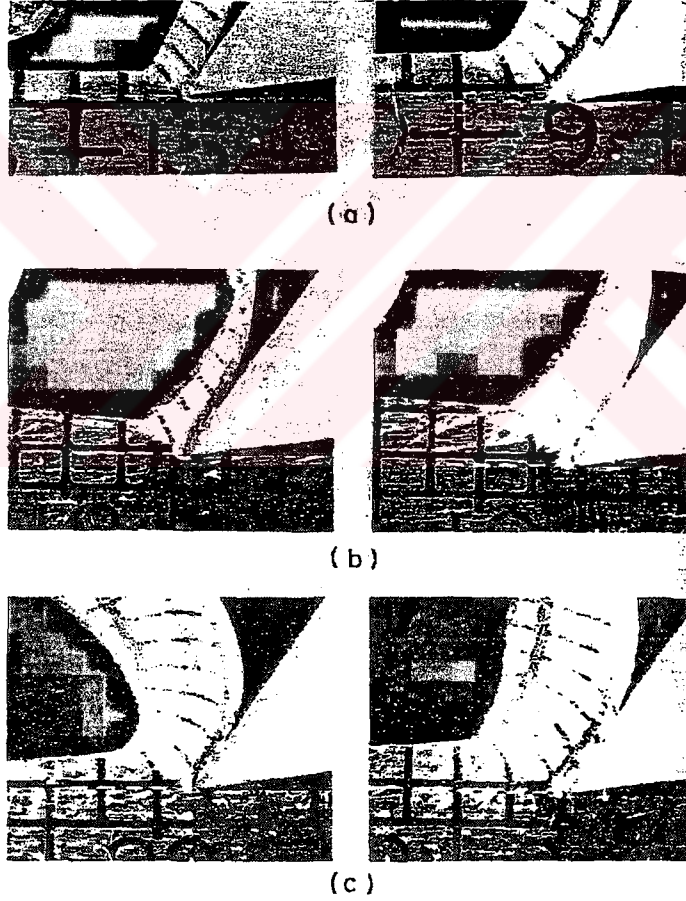
Şekil 3.35 İş parçasının yüzey eğiminin pozitiften negatife geçmesi esnasında oluşan kırık talaş formunun başlaması

Şekil 3.36'da talaş açısı 10 derecedir. Şekil 3.36 a'de stabil kesme, Şekil 3.36 b'de pozitif eğimden hemen sonra kırık talaş formunun başlaması görülmektedir, Şekil 3.36 c'de talaşın kırılması bütün talaş boyunca olmaktadır. Bu kırılmalar, kayma gerilmesinin artması sebebiyle oluşmuş olabilir.



Şekil 3.36 Farklı yüzey eğimlerinde yapılan kesme işleminde oluşan talaş formu ($\gamma_0 = 10^\circ$ ve yağlayıcı CCl_4): a. $n = +5^\circ$, b. $n = -5^\circ$ ve oluşan kırık talaş formu, c. $n = -5^\circ$ ve sabit olmayan kesme şartı

Şekil 3.37'de, talaş açısı 30 derece ve iş parçası yüzey eğimleri; 0, +5, -5 derecedir.



Şekil 3.37 Eğimli yüzeyli iş parçasından talaş kaldırma ($\gamma_0 = 30^\circ$ ve CCl_4 kesme sıvısı): a. $n = 0^\circ$, b. $n = +5^\circ$, c. $n = -5^\circ$

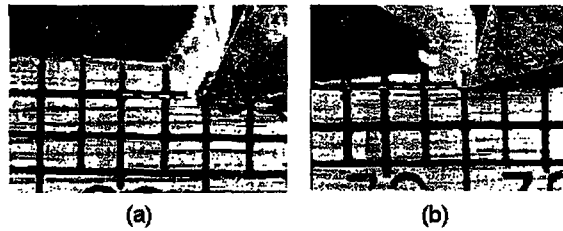
Bu deneyde çekilen fotoğraflardan bulunan kayma açıları ve talaş kalınlıkları Çizelge 3.7'de

görülebilmektedir. Aynı talaş açısında, yüzey eğimi negatiften pozitifte geçerken kayma açısının arttığı gözlenmiştir. Sabit yüzey eğiminde talaş açısı artırılırsa, kayma açısı da artar. Aynı şartlarda kesme sıvıları kullanılırsa, kayma açısının artacağı bilinmektedir.

Çizelge 3.7 Eğimli iş parçası kesme sonuçları

n (derece)	-5		0		5	
	t (mm)	β (derece)	t (mm)	β (derece)	t (mm)	β (derece)
$\gamma_0=10$ (derece) CCl_4	0.43	23.5	0.43	26.5	0.66	32.5
	0.83	25.5	0.76	31.0	0.94	35.5
$\gamma_0=20$ CCl_4	0.33	25.0	0.25	29.0	0.25	32.0
	0.64	29.0	0.53	31.5	0.58	37.0
	1	27.0	0.83	33.0	0.86	36.0
$\gamma_0=30$ CCl_4	0.66	34.5	0.48	38.5	0.61	42.5
	0.97	36.0	0.97	39.0	1.07	45.5
$\gamma_0=30$ Kuru	0.81	25.0	0.81	33.0	0.91	37.0

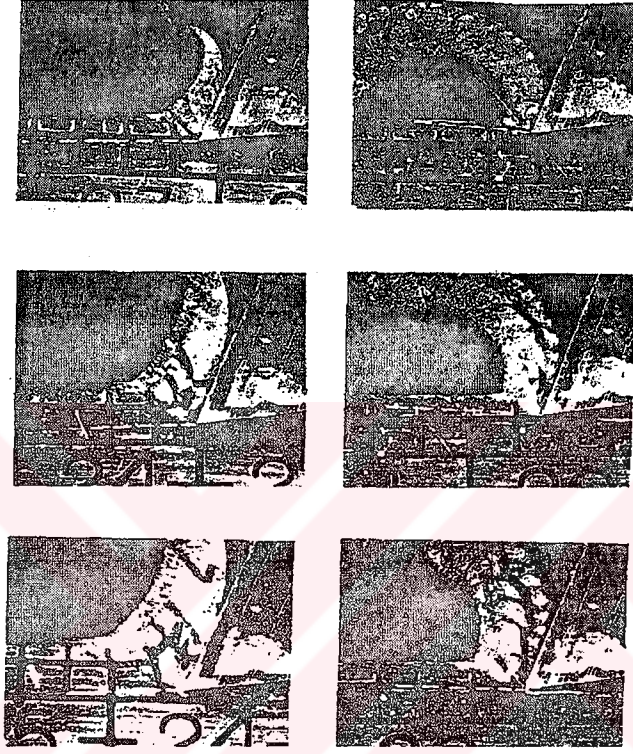
Yapılan başka bir deneyde talaş açısı 15 ve 25 derece , iş parçası yüzey eğimi -5 ve $+5$ olarak alınmıştır (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Eğimli yüzeyde talaş kaldırma işlemi: a. $\gamma_0=25^\circ$ ve yüzey eğimi $n = +5^\circ$, kayma açısı $\beta = 42^\circ$, b. $\gamma_0 = 15^\circ$ ve yüzey eğimi $n = -5^\circ$, kayma açısı $\beta = 27.5^\circ$

Şekil 3.38'den çıkarılan sonuçlar aynı efektif talaş açlarına sahip, sinüs eğrisi şeklinde hareket ederek talaş kaldıran işleme ait sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

İş parçası yüzey eğimi sıfır alınarak yapılan deneyde, kesici takım kesme işlemini gerçekleştirirken sinüs eğrisi şeklinde hareket etmiştir. Takımın iş parçasına dalma yönündeki hareketine pozitif eğimli, tersi yönündeki hareketine negatif eğimli kesme işlemi denir (Şekil 3.39).



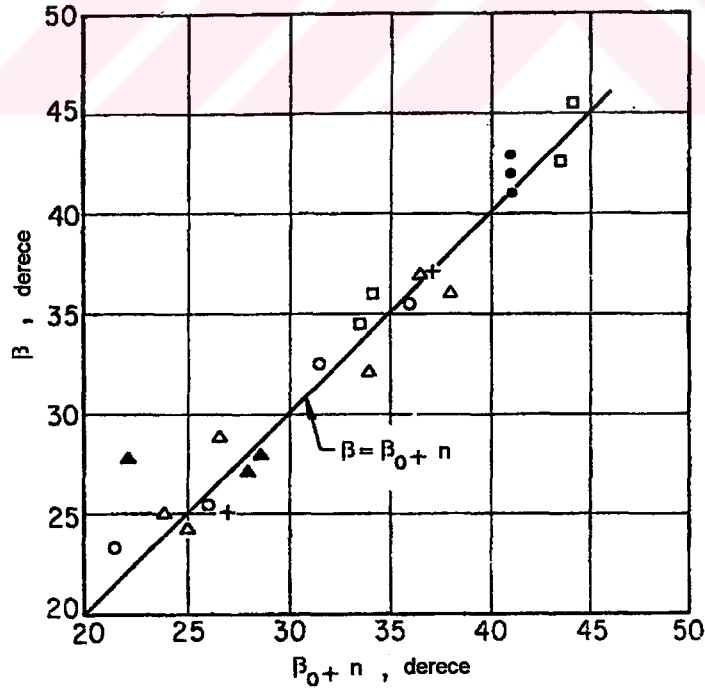
Şekil 3.39 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklindeki kesme hareketi, efektif talaş açısı $\gamma_0 = 20^\circ$ ve kesme sıvısı CCl_4 ; a. Pozitif eğim, b. Negatif eğim

Pozitif eğimli talaş kaldırma işleminde, kesme derinliği arttıkça kayma açısı değeri yükselir. Negatif eğimlide ise, kesme derinliği azaldıkça kayma açısı değeri düşer. Aynı kesme derinliğinde, kesici takımın iş parçasına dalarken ortaya çıkan kayma açısı değeri, tersi yöndeki hareketiyle oluşan kayma açısı değerinden büyüktür. Deneylerden elde edilen değerler Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Talaş açısı 20 derece olmasına rağmen, kesici takımın sinüs eğrisi şeklinde hareket etmesinden dolayı, kalem iş parçasına dalma yönünde hareket ederken efektif talaş açısı (γ_0^1), 20 dereceden büyük olur. Ters hareketinde ise 20 dereceden küçük olur.

Çizelge 3.8 Kesici takımın sinüs eğrisi şeklinde hareketiyle yapılan kesme işleminden elde edilen sonuçlar

γ_0' (derece)	t (mm)	β (derece)	γ_0 (derece)	t (mm)	β (derece)
$\gamma_0 = 20^\circ, n = +5^\circ$			$n = 0^\circ$		
25.5	0.58	42.0	25	0.58	36.0
23.3	0.91	41.0	25	0.91	36.0
25.3	1.17	43.0	25	1.35	36.0
$\gamma_0 = 20^\circ, n = -5^\circ$			$n = 0^\circ$		
15.5	0.18	24.4	15	0.13	30.0
15.0	0.38	28.0	15	0.38	27.0
16.1	0.53	28.0	15	0.53	33.5

Çizelgelerden yararlanılarak Şekil 3.40'daki grafik çizilebilir. Grafik incelendiğinde, ister iş parçası eğimli olsun ister kalem salgılı kesim yapsın; kayma açısı yaklaşık olarak eğim (n) kadar artar. Yani, $\beta = \beta_0 + n$ denklemi doğrulanmış olur [Kobayashi,1964].



Şekil 3.40 Kayma açısı ve iş parçası yüzey eğimi arasındaki ilişki

3.2.4 İş Parçası Malzemesi

Talaş kaldırma işleminde kayma açısını etkileyen en büyük etkenlerin iş parçası malzemesi, kesici takım malzemesi ve kesme şartları olduğu bilinmektedir. Kayma açısı, talaş kaldırma sırasında oluşur ve talaş oluşma şeklini gösteren çok önemli bir parametredir. Bu nedenle, talaşın oluşma şekli üzerinde yoğun olarak çalışılmakta ve birçok denklemler ortaya konulmuştur. Fakat, hangi teori pratiğe daha uygundur sorusu tam olarak netlik kazanmamıştır. Çünkü talaşın oluşma mekanizması, oldukça karmaşıktır ve birbirini etkileyen çok sayıda parametrelere sahiptir.

Merchant yaptığı temel çalışmada, kayma açısının sürtünme ve talaş açısına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (3.80). Bu açı ilişkisinde, kayma açısının sürtünme açısına bağlı olduğu görülebilir. Sürtünme açısı birçok açı bağıntısında kullanılmıştır. Fakat, kayma açısının sadece sürtünme açısı ile talaş açısına bağlı değildir. Sürtünme açısına ilave olarak veya onun yerine geçecek parametrelerin bulunması için, birçok çalışmalar yapılmıştır.

Sata ve Takeyama sürtünme açısının yerine, talaş-takım ara yüzey uzunluğunu kullandılar (3.81). Diğer taraftan, Nakayama kesme kuvvetini hesaplamak için kesme hızını ve kesme derinliğini kullanarak bir ampirik bağıntı oluşturmuştur (3.82).

N. Ueda ve T. Matsuo (3.80), (3.81) ve (3.82) denklemlerini incelemek ve hangisinin deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu bulmak için deneyler yapmıştır. Deneyde P20 sert metal kesici takım ve elmas kesici takım kullanılmıştır. Deneyler kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Üzerinde çalışılacak olan denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$\beta = c_1 - c_2(\eta - \gamma_0) \quad (3.80)$$

$$\cot \beta = c_3 + c_4 l_c / t \quad (3.81)$$

$$\beta = \beta_1 + k\gamma_0 - A / \sqrt{V_c t} \quad (3.82)$$

$c_1, c_2, c_3, c_4, \beta_1, k, A$: İş parçası ve kesici takım malzemesine bağlı sabit sayılardır.

l_c : Talaş-takım arakesiti uzunluğu

İş parçası malzemesi olarak α -Princi, alüminyum ve değişik oranlarda karbon içeren çelik kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kesme koşulları Çizelge 3.9'da, iş parçası malzeme sertlikleri Çizelge 3.10'da görülebilir.

Çizelge 3.9 Kesme koşulları

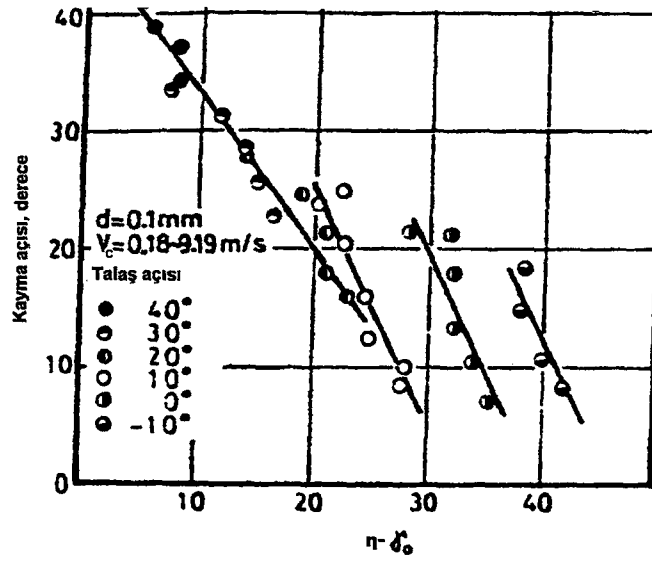
Kesme hızı (m/s)	0.18-10.9
Talaş açısı (derece)	-10 ile 40 arası
Kesici takım	P20 sert metal Elmas

İş parçası malzemesi sertlikleri Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 İş parçası malzeme sertlikleri

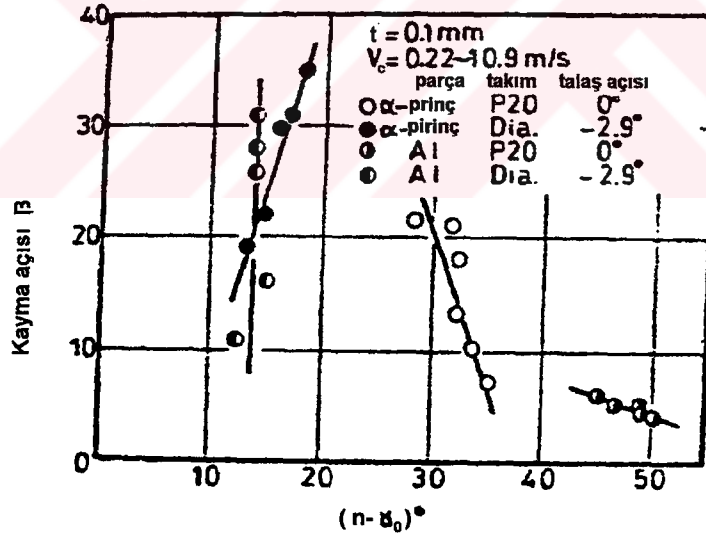
Malzeme	Sembol	Sertlik (Hv)
Alüminyum	Al	37
Prinç	α -Prinç	160
Bakır	Cu	83
Çelik	St 20	160
	St 45	212
	St 55	250

Şekil 3.41'de, prinç malzemenin, P20 kesici takımla altı farklı talaş açısında kesme işlemi yapılmasından sonra elde edilen değerler gösterilmiştir. Grafik de kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki görülmektedir. Her bir talaş açısıyla yapılan kesme işlemi sonunda elde edilen noktalar birleştirilerek bağıntı çizgileri elde edilmiştir. Şekildeki bütün çizgiler yaklaşık olarak birbirlerine paraleldir ve eğimleri negatiftir. Hız çeliği kullanıldığında da bu grafiğe benzer ilişkinin olduğu saptanmıştır. Fakat iş parçası çelik olduğunda, negatif eğimlerin daha az olduğu görülmüştür.



Şekil 3.41 Kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki

Prinç ve alüminyum iş parçalarından, P20 sert metal ve elmas kesici takımlar kullanılarak talaş kaldırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.42). Yine kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 3.42 Alüminyum ve prinç malzemelerine ait kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısı arasındaki ilişki

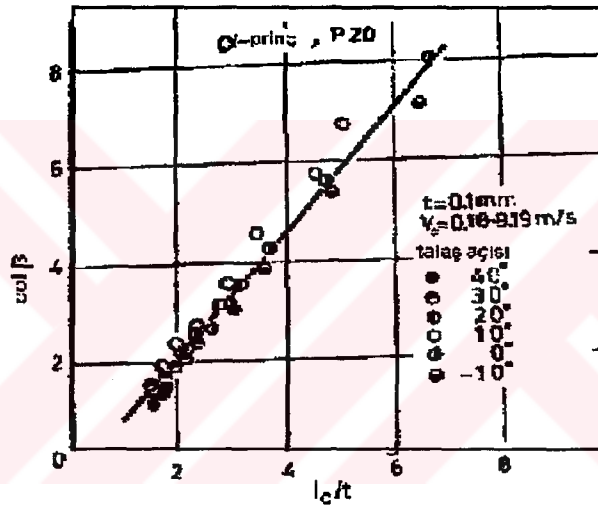
Aynı kesme şartlarında prinç malzemeye ait olan kayma açısı değeri, alüminyum malzemeye ait olan kayma açısı değerinden büyüktür. Bu şekilde görüldüğü gibi, kayma açısı lineer olarak artmıştır. Ancak, elmas kesici takım kullanıldığında, eğimin pozitif olduğu

görülmüştür. Kayma açısı, sürtünme açısı ve talaş açısının ilişkilerini gösteren grafikler incelendiğinde, deney sonuç noktalarını gösteren çizgilerin eğimleri, iş parçası malzemesinden, kesici takım malzemesinden ve talaş açısından etkilenmektedir. Bu nedenle, denklem (3.80)'i kullanarak kayma açısını hesaplamak kolay olmayacaktır.

İkinci deneyde kayma açısı, talaş-takım arakesiti uzunluğu ve kesme derinliği arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 3.43).

N. Ueda ve T.Matsuo teorik talaş-takım arakesit uzunluğunu aşağıdaki denklem şeklinde ifade etmişlerdir.

$$l_c = \frac{\sin(\beta + \eta - \gamma_0)}{\sin \beta + \cos \eta} \quad (3.83)$$

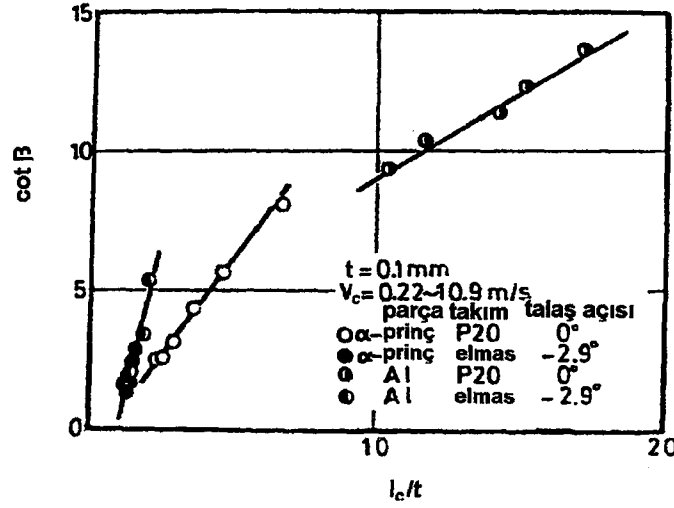


Şekil 3.43 $\cot \beta - l_c / t$ arasındaki ilişki

Deneyde farklı talaş açıları ($-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$) kullanılmıştır. Kayma açısının kotanjantı ile talaş-takım arakesit uzunluğu kesme derinliği oranı lineer olarak değişmektedir. Talaş- takım arakesit uzunluğu arttıkça kayma açısı azalır ve kesme derinliği arttıkça kayma açısı artar. Bu deneyde iş parçası olarak α -Princi, kesici takım olarak P20 sert metal kullanılmıştır. Talaş kaldırma işleminde kullanılan talaş açısı yükseldiğinde, kayma açısının kotanjantınınun azaldığı görülmüştür. Yani kayma açısı artar.

$\cot \beta - l_c / t$ arasındaki ilişki, iş parçası alüminyum ve α -Princi, kesici takım olarak P20 sert metal ve elmas kesici takım kullanılarak yapılan deneyde, bulunmuştur (Şekil 3.44).

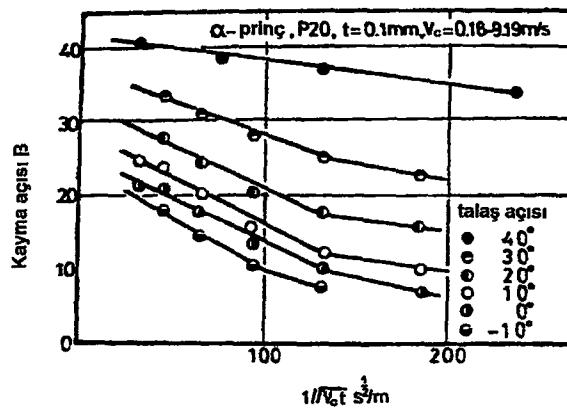
Elmas kesici takımla yapılan kesme işlemlerinde ortaya çıkan kayma açısı değerleri, P20 kesici takımla yapılan kesme işlemlerinde elde edilen kayma açısı değerlerinden büyük olukları görülmüştür.



Şekil 3.44 $\text{Cot } \beta - l_c/t$ ilişkisi

Elmas kesici takıma ait talaş-takım arakesit uzunluğu, P20 sert metalle elde edilen arakesit uzunluğundan daha küçük çıkmıştır. Bu nedenle, elmas kesici takımla yapılan kesme işlemine ait kayma açısı değerleri diğerlerinden büyük olmuştur.

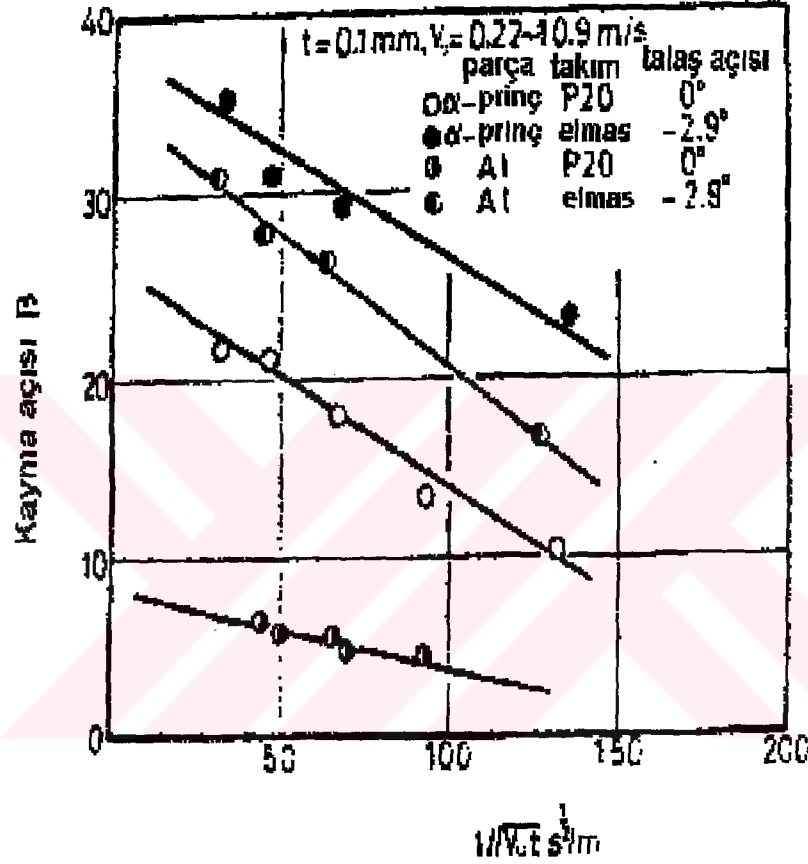
Kayma açısı, kesme hızı ve kesme derinliği esas alınarak yapılan deneyde, kesici takım olarak P20 sert metal ve iş parçası olarak α -princi kullanılmıştır (Şekil 3.45). Deneyde yine farklı talaş açıları ($-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$) kullanılmıştır.



Şekil 3.45 Kayma açısı, kesme hızı ve kesme derinliği arasındaki ilişki

Kesme hızı veya kesme derinliği artarken, kayma açısı değeri de artar. Kayma açısının değişimi lineer olmuştur. Talaş açıları artırılarak yapılan deneylerde, kayma açıları da artmıştır.

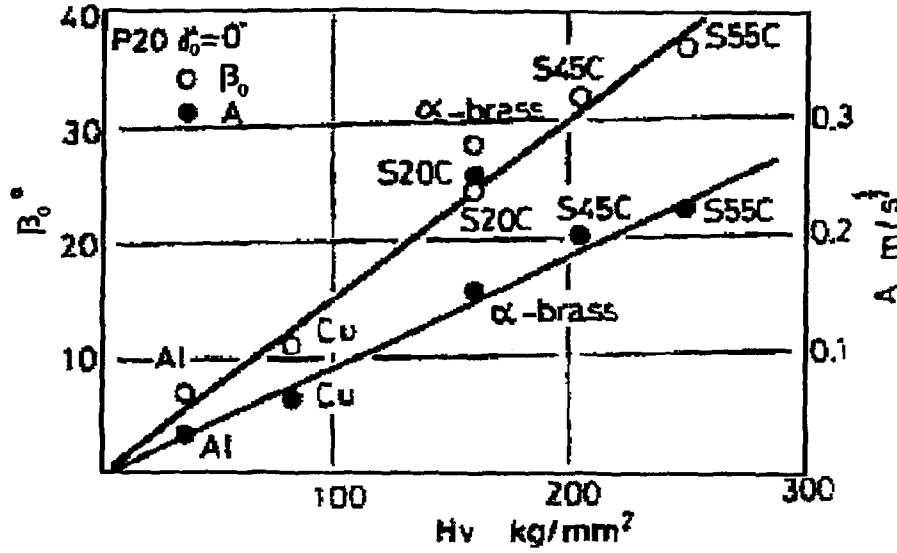
Kayma açısı, kesme hızı ve kesme derinliği parametreleri esas alınarak alüminyum ve α -Prinç malzemelerinden, P20 sert metal ve elmas kesici takımları kullanılarak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir (3.46).



Şekil 3.46 $\beta - 1/\sqrt{V_c t}$ arasındaki ilişki

Farklı talaş açılarındaki, deney sonuç noktalarını içeren doğruların eğimleri ve paralellikleri Şekil 3.45'deki bağıntı çizgilerine benzemektedir. Yani, talaş açısı, kesici takım, kesme derinliği ve iş parçası malzemesi değiştiği halde, grafikteki bağıntı çizgilerinin karakteristikleri benzer özellikler göstermiştir.

İş parçası malzeme sertliği ile kayma açısı arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla yapılan deneylerde, talaş açısı sıfır olarak seçilmiştir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 İş parçası malzemesi sertliği ve kayma açısı arasındaki ilişki

Deneylerde kullanılan iş parçalarının sertlikleri ile kayma açısı arasındaki ilişki lineer olarak değiştiği gözlenmiştir. Yani, iş parçasının sertliği artarken kayma açısı da lineer olarak artmaktadır. Bu ilişki nedeniyle, denklem (3.82)'nin kullanılması pratik uygulamaya daha yatkındır. Ayrıca, bu denklem kesme hızını ve kesme derinliğini içerdiği için, kullanılması daha avantajlıdır. Fakat, $(1/\sqrt{V_c t})$ 'yi isimlendirmek zordur [Matsuo,1986].

İş parçalarının sertlikleri farklı oldukları için, kayma açıları da farklı olur. Yani, sertlik arttıkça kayma açısı da artar. Diğer taraftan, eşit kesme kuvvetinde, iş parçası malzemesine ait kayma mukavemeti arttıkça, kayma açısı değeri de yükselir.

Her iş parçası malzemesinin, çalıştığı malzemelerle oluşan sürtünme katsayısı yükseldikçe, kayma açısı azalır. Eğer malzemenin yapısında grafit gibi yağlayıcı varsa, sürtünme katsayısı düşeceğinden, kayma açısı değeri yüksek olur.

3.2.5 Talaş Kalınlık Oranı, Kesme Hızı, Takım İlerlemesi ve İvmeli Talaş Kaldırma

Talaş kaldırma işleminde kayma açısı çok önemli bir fonksiyona sahiptir. Talaş oluşurken kayma gerilmesinin, kayma gerinim oranının ve kayma gerilmesi artışının saptanması için, kayma açısının bilinmesi önemlidir.

Kayma açısına bakılarak işlem verimliliği hakkında bilgi elde edilebilir. Kayma açısı büyük olduğunda, sürekli talaş formu, iyi işlenmiş yüzey ve enerji tasarrufu ortaya çıkar.

Talaş kaldırma işleminde çok sayıda parametreler olduğu için, araştırmacıların teklif ettiği

modeller ile deneysel sonuçlar arasında büyük farklılıklar vardır. Kayma açısını; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi parametreler de etkilediği halde, bağıntıların çoğunda bu parametreler kullanılmamıştır. Sabit kesme derinliği ile yapılan kesme işlemi, iki grupta incelenebilir:

- 1) İş parçası boyunca normal tornalama
- 2) Değişken hızlı talaş kaldırma

Bu çalışmada, talaş kalınlık oranı, kesme hızı ve takımın ilerlemesinin kayma açısına etkisi, ivmeli talaş kaldırma ve sabit kesmede, araştırılmıştır. Bu konuyla ilgili tek çalışma olduğu için, aşağıda bahsedilecektir.

İvmeli tornalama işlemi; yüzey tornalama ve konik yüzey tornalama şeklinde uygulanmıştır.

Talaş kaldırma işleminde, kayma gerinme bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\dot{r} = \frac{V_c \cos \gamma_0}{ds \cos(\beta - \gamma_0)} \quad (3.84)$$

Sabit kesme hızı ile çalışmada, kayma gerinmesi hızı, talaş kaldırma işlemi süresince sabit kalır. Fakat ivmeli kesme işleminde kesme hızı değiştiği için, kayma açısı ile birlikte ds 'de değişir.

Denklem (3.84) kullanılarak, ivmeli yüzey tornalama ve ivmeli konik yüzey tornalama için, yeni bağıntılar elde edilmiştir.

$$\ddot{r} = \frac{d\dot{r}_f}{dt} = \frac{2\pi f N^2 \cos \gamma_0}{ds \cos(\beta - \gamma_0)} \quad (3.85)$$

f : İlerleme hızı

N : Devir sayısı

\dot{r}_f : İvmeli yüzey tornalamadaki kayma gerinmesi hızı

\ddot{r} : Kayma gerinmesi ivmelenmesi

θ_t : İş parçası koniklik açısı

$$\ddot{r} = \frac{dr}{dr} = \frac{2\pi f N^2 \tan \theta_t \cos \gamma_0}{ds \cos(\beta - \gamma_0)} \quad (3.86)$$

Yapılan deneyler sonucunda ds 'in değeri, aşağıdaki denklem şeklinde saptanmıştır.

$$ds = \frac{\sqrt{2}t \sin\left(\frac{\pi}{2} + \gamma_0 - \beta\right)}{4 \sin \beta \sin\left(\frac{\pi}{4} - \gamma_0 + \beta\right)} \quad (3.87)$$

Kayma gerinmesi ivmelenmesi, ilerleme hızı ve iş parçası devir sayısının karesi ile doğru orantılıdır. Kayma gerinmesi ivmelenmesi talaş formunu, kesme kuvvetini, takım aşınmasını ve talaş-takım arakesitindeki sıcaklığı etkiler.

Kayma açısının değişimlerini görmek amacıyla V. K. Jain ve D. K. Bandyopadhyay, H. S. S kesici takım kullanarak, ortagonal ivmeli talaş kaldırma işlemi uygulamışlardır. İş parçası malzemesi olarak, orta sertlikte çelik seçilmiştir. Kayma gerilmesi ivmelenmesinden dolayı değişen parametrelerin, kayma açısına olan etkileri incelenmiştir. İşlemden sabit kesme derinliği ve ivmeli kesme işlemi kullanılmıştır. İvmeli kesme ve normal kesme işlemleri, aynı şartlar altında yapılmıştır. İvmeli yüzey tornalamada da, ilerleme hızı ve kesme hızı değiştirilmiştir. Deneylerde kesme derinliği ve takım geometrisi sabit tutulmuştur. Yapılan deneylerde kesme sıvısı kullanılmamıştır.

Denklem (3.4) 'de, kayma açısı ve talaş kalınlığı oranı arasındaki bağıntı gösterilmiştir. Bu bağıntı incelendiğinde, talaş kalınlığı oranı ($r_c = t/t_f$) artırıldığında kayma açısı da artar.

İvmeli konik tornalamada elde kayma açıları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 İvmeli konik tornalamada elde edilen kayma açıları

Sıra no	Faktörler		Kayma açıları					
	R.P.M. X_1	İlerleme X_2	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
1.	160	0.15	17.06	18.88	20.65	21.65	24.56	27.51
2.	320	0.15	17.39	19.72	22.16	23.92	25.24	26.71
3.	160	0.26	24.92	25.73	26.59	27.98	30.07	32.45
4.	320	0.26	26.59	27.98	29.52	30.63	31.83	34.46
5.	125	0.20	20.87	22.02	23.76	25.24	26.33	28.13
6.	400	0.20	24.23	24.73	26.33	27.51	28.73	30.92
7.	250	0.13	14.55	16.10	17.58	19.18	21.50	23.44
8.	250	0.30	23.30	24.56	26.72	28.35	29.24	31.71
9.	250	0.20	20.51	21.62	23.76	26.33	29.47	30.92
10.	250	0.20	20.87	22.43	24.23	26.33	28.78	29.47
11.	250	0.20	21.62	22.19	24.23	26.90	28.78	30.18
12.	250	0.20	21.24	22.02	24.23	26.33	28.13	30.18
13.	250	0.20	20.51	22.35	23.30	25.24	28.13	29.47

İvmeli konik yüzey tornalanmasında, farklı parametreler kullanılarak ortaya çıkan kayma açıları Çizelge 3.12’de görülebilir.

Çizelge 3.12 İvmeli konik tornalamada elde edilen kayma açıları

Sıra no	Faktörler		İlerleme	Kayma Açılıarı						
	R.P.M.	Konik açıları (derece)		X_3	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
	X_1	X_2								
1.	160	3	0.15	11.77	14.05	14.76	15.06	15.28	16.42	
2.	320	3	0.15	12.45	13.40	14.28	15.02	16.73	16.73	
3.	160	5	0.15	13.83	14.52	15.02	15.28	15.55	16.74	
4.	320	5	0.15	15.55	16.74	17.55	18.88	20.16	22.16	
5.	160	3	0.25	19.12	19.89	20.72	21.62	23.31	24.83	
6.	320	3	0.25	20.72	21.62	22.94	24.04	25.24	25.67	
7.	160	5	0.25	17.33	18.41	18.85	20.16	21.62	22.95	
8.	320	5	0.25	26.10	28.00	28.52	29.61	30.18	31.38	
9.	100	4	0.20	17.22	17.48	17.74	18.58	19.18	21.62	
10.	400	4	0.20	18.58	19.50	19.82	20.87	22.02	23.76	
11.	250	2.32	0.20	19.83	21.24	22.43	24.73	25.77	27.51	
12.	250	5.68	0.20	15.22	16.05	17.48	17.75	18.88	20.16	
13.	250	4	0.113	9.00	10.28	11.56	11.77	12.21	13.19	
14.	250	4	0.275	23.30	24.68	26.23	27.07	27.07	25.43	
15.	250	4	0.20	19.50	20.87	22.02	23.30	23.76	25.24	
16.	250	4	0.20	18.02	19.82	20.87	22.02	23.76	25.24	
17.	250	4	0.20	18.29	19.50	20.51	21.62	22.86	23.30	
18.	250	4	0.20	17.22	18.29	20.51	21.62	21.61	23.76	
19.	250	4	0.20	18.01	19.50	20.87	22.86	23.76	26.33	
20.	250	4	0.20	18.29	19.83	20.16	21.62	23.30	25.24	

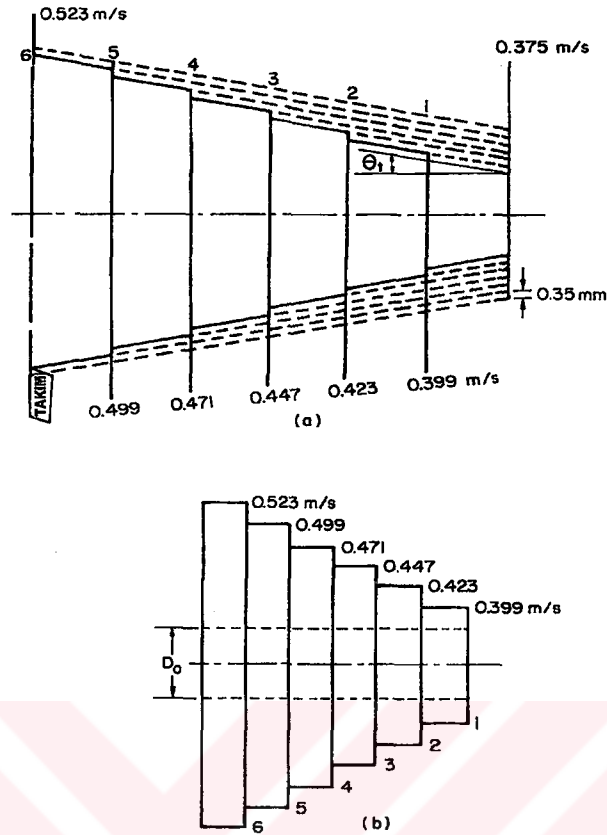
Deneylerde kullanılan parametreler ve farklı seviyelerdeki değerleri Çizelge 3.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 Kullanılan parametreler

(a) Konik tornalama						
Faktörler	Semboller	Seviyeler				
		-1.682	-1	0	1	1.682
R.P.M. Hesaplanan Kullanılan	X_1	(105.44) 100	(160) 160	(240) 250	(320) 320	(374.56) 400
Konik açısı Hesaplanan Kullanılan	X_2	(2.318°) 2.333°	(3°) 3°	(4°) 4°	(5°) 5°	(5.682°) 5.666°
İlerleme (mm rev ⁻¹) Hesaplanan Kullanılan	X_3	(0.1159) 0.113	(0.15) 0.15	(0.20) 0.20	(0.25) 0.25	(0.2841) 0.275

(b) İvmeli yüzey tornalama						
Faktörler	Semboller	Seviyeler				
		-1.414	-1	0	1	1.414
R.P.M. Hesaplanan Kullanılan	X_1	(126.88) 125	(160) 160	(240) 250	(320) 320	(353.12) 400
İlerleme (mm rev ⁻¹) Hesaplanan Kullanılan	X_2	(0.1272) 0.13	(0.15) 0.15	(0.205) 0.20	(0.26) 0.26	(0.2827) 0.30

Deneysel olarak kullanılan iş parçaları, şematik olarak Şekil 3.48’de görülebilir.



Şekil 3.48 İş parçası a. İvmeli konik tornalama b. İvmeli yüzey tornalama

Deneysel olarak altı farklı kesme hızı seçilmiştir. İvmeli konik yüzey ve ivmeli yüzey talaş kaldırma işlemlerinde, farklı hız değerleri için, kayma açıları bulunmuş ve bunlar karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak konik açısı 3 derece olan iş parçası, 160 rpm devirle döndürülerek işleme başlanmıştır. İlerleme olarak 0.15 seçilmiştir. Kesme hızı 0.375 (m/s) ‘den 0.399 (m/s) ‘ye kadar yükselirken kesme işlemi yapılır. Her hız kademelerinde (V_1 , V_2 ,, V_6), işlem durdurularak çıkan talaş alınır. Kesme hızı 0.375 (m/s)’den 0.423 (m/s)’ye çıkarken talaş kaldırma işlemi yapılır. Kesme hızı 0.423 (m/s)’ye gelince tezgah durdurulur ve incelemek için talaş alınır. Diğer hız kademeleri içinde bu işlem tekrarlanır.

Her bir uygulamadan, rasgele beş adet talaş seçilmiş ve bu talaşlardan, talaş kalınlıkları ölçülmüştür. Daha sonra talaş kalınlık oranları, daha önce verilen ilgili denklem ile hesaplanmıştır. Aynı çalışmalar, ivmeli yüzey tornalama ile talaş kaldırma için de uygulanır.

Çizelge 3.14’de ivmeli talaş kaldırma işlemleri için bulunmuş olan kayma açısı denklemleri görülebilir. Çizelgedeki (b) değerleri, bilgisayar yardımı ile bulunmuştur.

Çizelge 3.14 İvmeli talaş kaldırma için elde edilen denklemlerin sabit parametreleri

KESME HIZI	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}
Konik tornalama (H.S.S)										
V ₁	18.22	1.10	0.0729	3.93	-0.116	-0.248	-0.735	1.03	0.996	-0.196
V ₂	19.62	1.19	-0.00143	3.91	-0.358	-0.304	-0.716	1.34	1.218	0.136
V ₃	20.82	1.27	-0.0773	3.96	-0.726	-0.311	-0.686	1.30	1.226	0.0263
V ₄	22.17	1.41	-0.2599	4.17	-0.873	-0.337	-0.981	1.33	1.038	0.00375
V ₅	23.16	1.56	-0.3396	4.22	-0.846	-0.236	-1.186	1.22	0.554	-0.05625
V ₆	24.83	1.36	-0.2037	3.91	-0.690	-0.285	-1.885	1.58	0.443	-0.2400
$\phi_f = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$										
Yüzey (H.S.S)										
V ₁	20.95	0.844	3.68	-	0.9837	-0.828	-	0.3349	-	-
V ₂	22.12	0.865	3.38	-	0.9282	-0.594	-	0.3525	-	-
V ₃	23.95	1.01	3.27	-	0.8257	-0.622	-	0.3549	-	-
V ₄	26.23	0.978	3.22	-	0.3318	-0.973	-	0.1700	-	-
V ₅	28.66	0.738	2.88	-	-0.1912	-1.283	-	0.2699	-	-
V ₆	30.05	0.644	3.05	-	0.1678	-0.8068	-	0.7025	-	-
$\phi_f = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$										

Fark analizi metodu ve deneysel çalışma sonuçlarına göre, seçilen modellerin uygun oldukları görülmüştür. Farklı ivmeli talaş kaldırma işlemleri için, (x) değerleri Çizelge 3.15'de görülebilir.

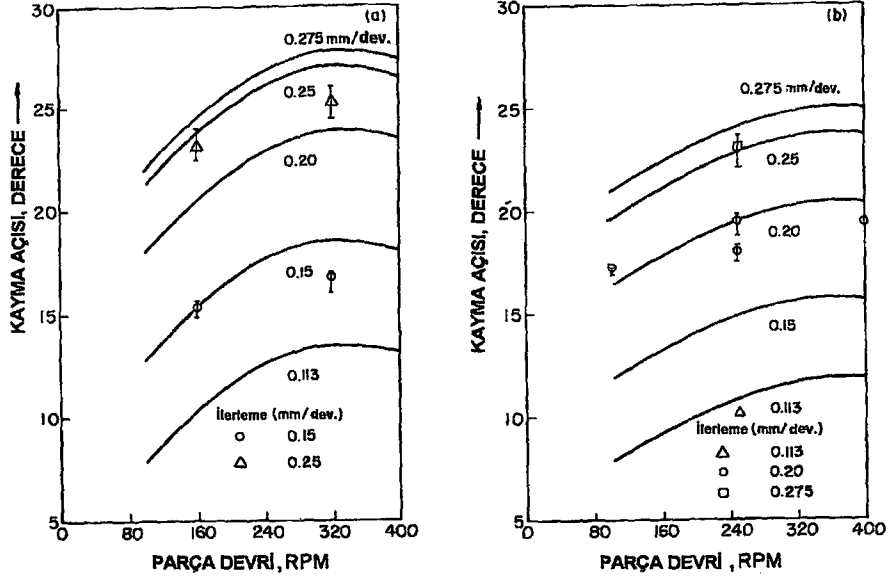
Çizelge 3.15 İvmeli talaş kaldırma deneylerinde (x) değerleri

	X_0	X_1	X_2	X_3	X_{11}	X_{22}	X_{33}	X_{12}	X_{13}	X_{23}
Konik tornalama										
V ₁	662.17	5.51	0.024	70.09	0.066	0.30	2.59	2.79	2.63	0.102
V ₂	1334.54	11.19	0.000	120.43	1.07	0.77	4.27	8.29	6.84	0.08
V ₃	1678.94	14.34	0.05	137.97	4.93	0.91	4.399	8.81	7.79	0.003
V ₄	940.85	8.66	0.29	75.51	3.51	0.53	4.43	4.52	2.74	0.00
V ₅	931.28	9.61	0.45	70.17	2.99	0.237	5.87	3.45	0.708	0.007
V ₆	730.23	4.98	0.11	41.05	1.36	0.23	10.10	3.96	0.308	0.09
Yüzey tornalama										
V ₁	2668.97	6.92	131.71	-	8.26	5.74	-	0.54	-	-
V ₂	3620.32	8.86	135.57	-	8.95	3.58	-	0.73	-	-
V ₃	5965.05	16.95	178.81	-	9.98	5.50	-	1.05	-	-
V ₄	6493.97	15.60	159.66	-	1.33	12.79	-	0.068	-	-
V ₅	4976.30	5.28	80.45	-	0.29	13.77	-	0.35	-	-
V ₆	3714.96	2.73	61.18	-	0.17	3.67	-	1.62	-	-

Bu modeller kullanılarak, kayma gerinmesi ivmelenmesinin etkileri hesaplanarak Şekil 3.49-Şekil 3.53 arasındaki şekiller çizilmiştir.

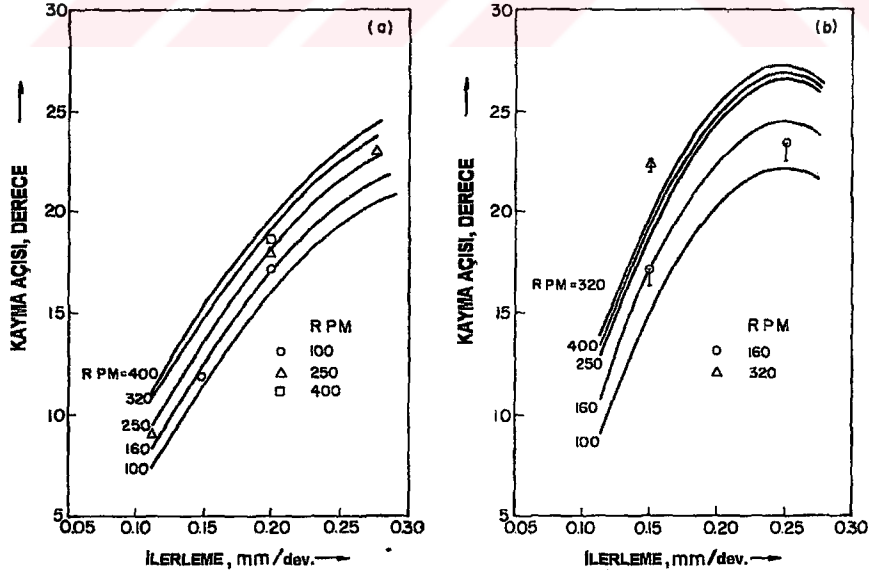
Düşük kesme hızlarında iş parçası devri arttığında, kayma açısı yükselir (Şekil 3.49 b). Yüksek kesme hızlarında ise, kayma açısı en yüksek değerine ulaşır (Şekil 3.49 a). İş parçası devir sayısı, kayma gerinmesi ivmelenmesini artırdığı için, devir sayısıyla birlikte kayma açısı

da artar. İlerleme değeri yükseldikçe, kayma açısı değeri de yükselir.



Şekil 3.49 İş parçası devrinin ve ilerlemenin, ivmeli konik tornalamada kayma açısına etkisi
a. Konik açısı 3 derece, $V_c=0.499$ (m/s) b. Konik açısı 4 derece, $V_c=0.399$ (m/s)

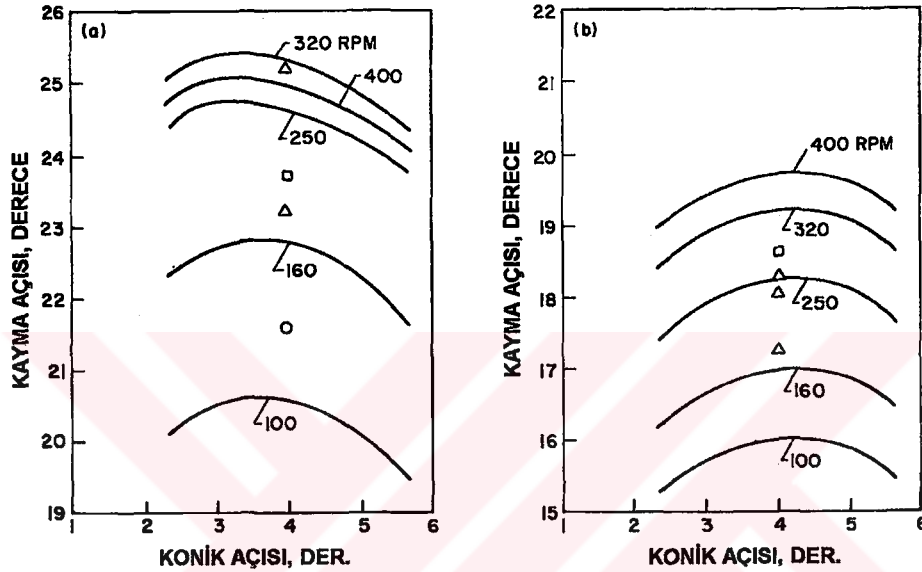
Düşük kesme hızlarında ve tüm iş parçası devir sayılarında, ilerleme miktarı arttığında kayma açısı değeri de artar. Sabit ilerlemede bütün kesme hızlarında, iş parçası devir sayısı ile kayma açısı birlikte artar (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 Farklı iş parçası devir sayıları için, ilerleme ile kayma açısı arasındaki ilişki a.
Konik açısı 4 derece, $V_c=0.399$ (m/s) b. Konik açısı 5 derece, $V_c=0.523$ (m/s)

Çünkü, kayma gerinmesi ivmelenmesinin artmasıyla kayma açısı da artmıştır. Teoriler ve deneysel çalışmalar, bu noktada uyuşmaktadır. Normal tornalama işlemlerinde de, sabit kesme hızında, ilerleme miktarı arttıkça kayma açısı da artar. Yüksek kesme hızlarında ve ivmeli konik tornalamada, ilerleme arttıkça kayma açısı bir noktaya kadar artar. Bu noktadan sonra ilerleme miktarı artırılabilir, kayma açısı azalır.

İlerleme ve kesme hızı değiştirilerek, konik açısı ve kayma açısı arasındaki ilişki Şekil 3.51'de gösterilmiştir.

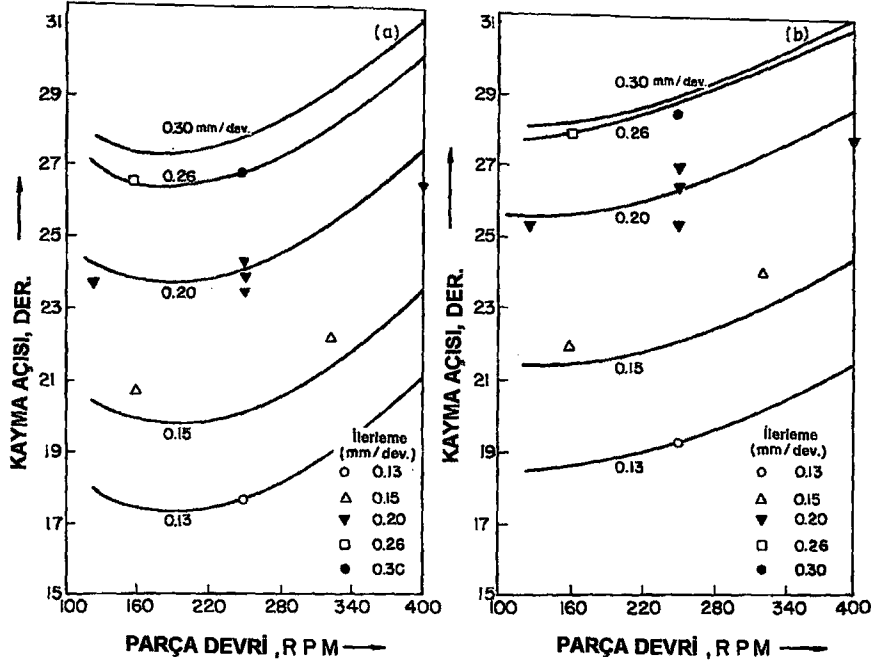


Şekil 3.51 Farklı devir sayıları için, konik açısının kayma açısına etkisi a. İlerleme 0.113 (mm/devir), $V_c = 0.399$ (m/s) b. İlerleme 0.275 (mm/devir), $V_c = 0.423$ (m/s)

İvmeli konik tornalama işleminde, aynı konik açıları için, ilerleme ve kesme hızı arttıkça kayma açısı azalır. Eşit devir sayısında ve ilerlemede, konik açısı ve kayma açısı bir tepe noktasına kadar birlikte artar. Tepe noktasından sonra, konik açısı artarken kayma açısı azalır.

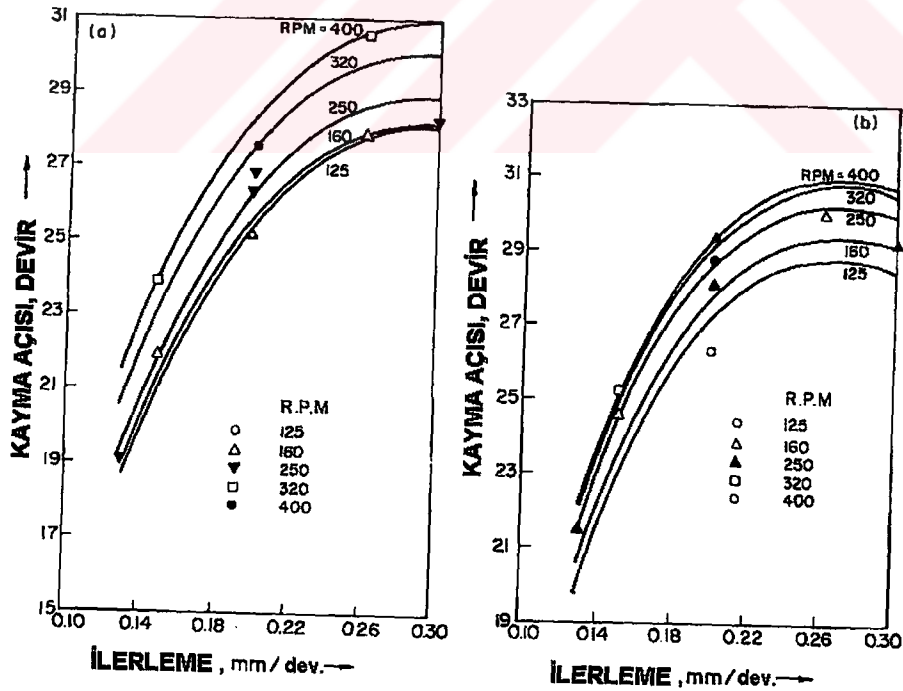
İvmeli yüzey tornalama işleminde, düşük kesme hızı ve düşük iş parçası devirleri haricinde, iş parçası devri ve kayma açısı birlikte artarlar. Bu sonuç teoriye ve deneysel çalışmalara uygundur. Sabit iş parçası devrinde, ilerleme değeri artırıldığında, kayma açısının da arttığı gözlenmiştir (Şekil 3.52).

Fakat, küçük kesme hızlarında; belli bir tepe noktasına kadar iş parçası devri artarken kayma açısı azalır. Bu noktadan sonra, kayma açısı ve iş parçası devri birlikte artar. Yüksek kesme hızlarında; sabit ilerleme değerinde ve sabit kesme hızında, iş parçası devri arttığında kayma açısı değeri yükselir.



Şekil 3.52 İvmeli yüzey tornalama işleminde, kayma açısı ile iş parçası devri arasındaki ilişki a. Kesme hızı 0.447 (m/s) b. Kesme hızı 0.471 (m/s)

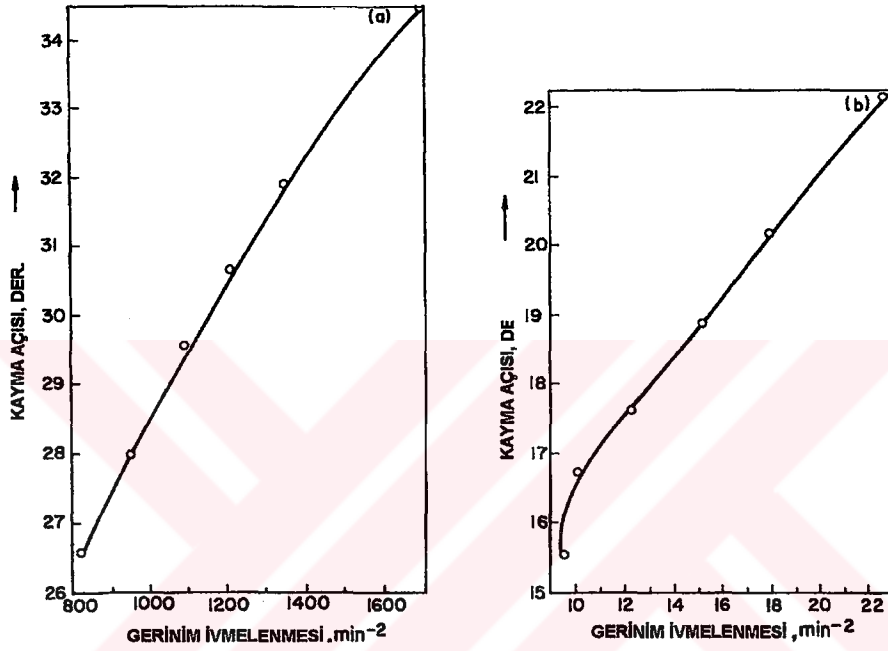
İvmeli yüzey tornalamasında, ilerleme ile kayma açısı arasındaki ilişki Şekil 3.53'de gösterilmiştir.



Şekil 3.53 İvmeli yüzey tornalama işleminde, kayma açısı ile ilerleme arasındaki ilişki a. Kesme hızı 0.471 (m/s) b. Kesme hızı 0.499 (m/s)

Sabit ilerlemede ve sabit kesme hızında, iş parçası devri arttığında, kayma açısı da artar. Bütün kesme koşulları aynı olmak şartıyla, kesme hızı artırıldığında kayma açısı azalır. Yüksek kesme hızlarında, belli bir maksimum noktadan sonra, ilerleme değeri artsa bile kayma açısı düşer.

Şekil 3.54'de kayma açısı ile kayma gerinmesi ivmelenmesi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, ivmeli yüzey tornalamada ve ivmeli konik tornalamada, gerinim ivmelenmesi ile kayma açısının birlikte arttığı görülür.



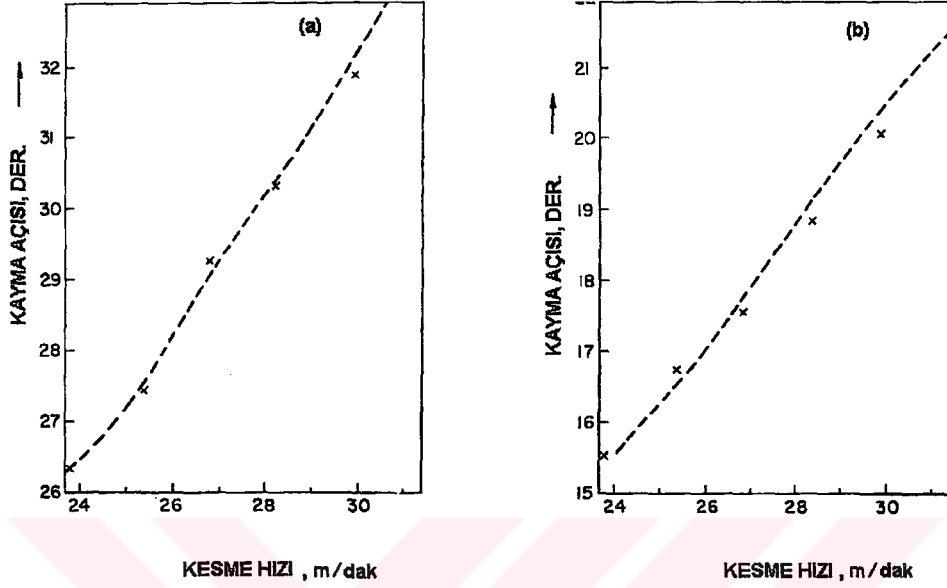
Şekil 3.54 Gerinim ivmelenmesinin kayma açısına etkisi a. İvmeli yüzey tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), ilerleme 0.26 (mm/devir) b. İvmeli konik tornalama; iş parçası devir sayısı 320 /devir/dakika), ilerleme 0.15 (mm/devir), konik açısı 5°

Şekil 3.55'de kesme hızıyla kayma açısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Sabit iş parçası devrinde ve sabit ilerlemede, kesme hızı artırıldığında kayma açısı değeri artar. İvmeli yüzey tornalamada ortaya çıkan kayma açısı değerleri, aynı kesme şartlarında, ivmeli konik yüzey tornalanmasında elde edilen kayma açısı değerlerinden büyüktür.

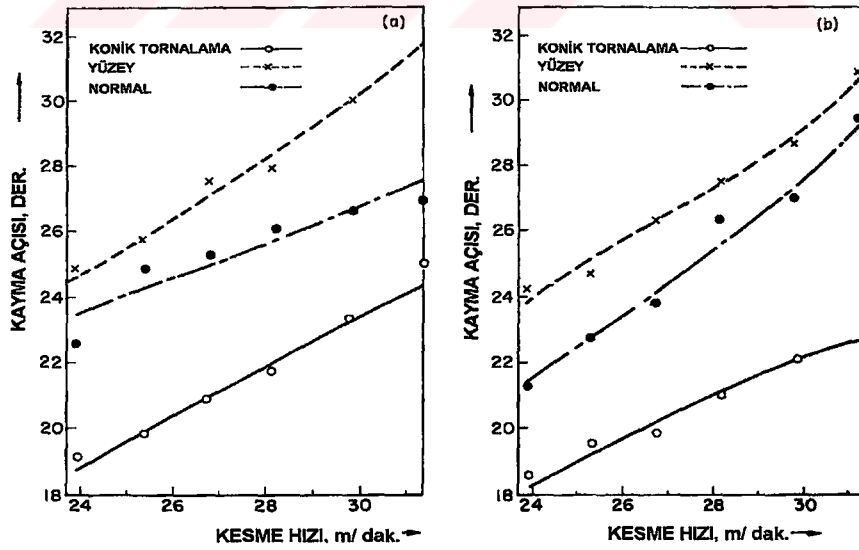
Normal tornalamada da, talaş kaldırma hızı artırılırsa kayma açısı değeri artar.

Şekil 3.56'da ivmeli ve normal talaş kaldırma işleminde, talaş kaldırma hızının kayma açısına etkisi gösterilmiştir. Sabit iş parçası devir sayısında ve sabit ilerleme değerinde, en yüksek kayma açıları değerleri ivmeli yüzey tornalama işleminde ortaya çıkmıştır. En küçük kayma açısı değerleri ise, ivmeli konik tornalama işleminde görülmüştür. Bütün iş parçası devir

sayılarında ve tüm ilerleme değerlerinde normal tornalama işleminde elde edilen kayma açısı değerleri, ivmeli yüzey tornalama ve ivmeli konik tornalama arasında olduğu görülmüştür. Bütün tornalama işlemlerinde ve tüm kesme şartlarında, talaş kaldırma hızı arttığında kayma açısı da artar [Jain,1985].



Şekil 3.55 Kesme hızının kayma açısına etkisi a. İvmeli yüzey tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), ilerleme 0.26 (mm/devir) b. İvmeli konik tornalamada; iş parçası devir sayısı 320 (devir/dakika), konik açısı 5° ve ilerleme 0.15 (mm/devir)



Şekil 3.56 Kesme hızının kayma açısına etkisi a. İş parçası devir sayısı 160(devir/dakika), konik açısı 3° ve ilerleme 0.25 (mm/dakika) b. İş parçası devir sayısı 400 (devir/dakika), ilerleme 0.20 (mm/devir) ve konik açısı 4°

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

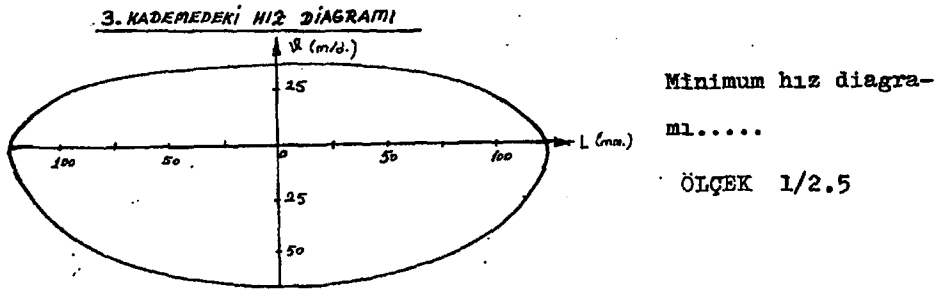
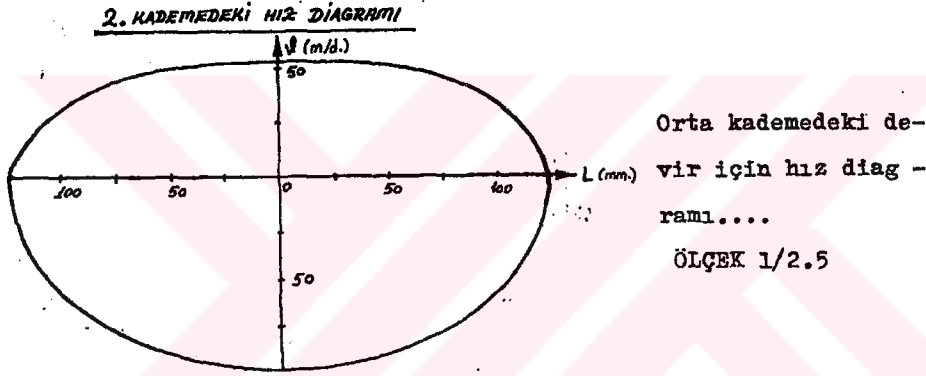
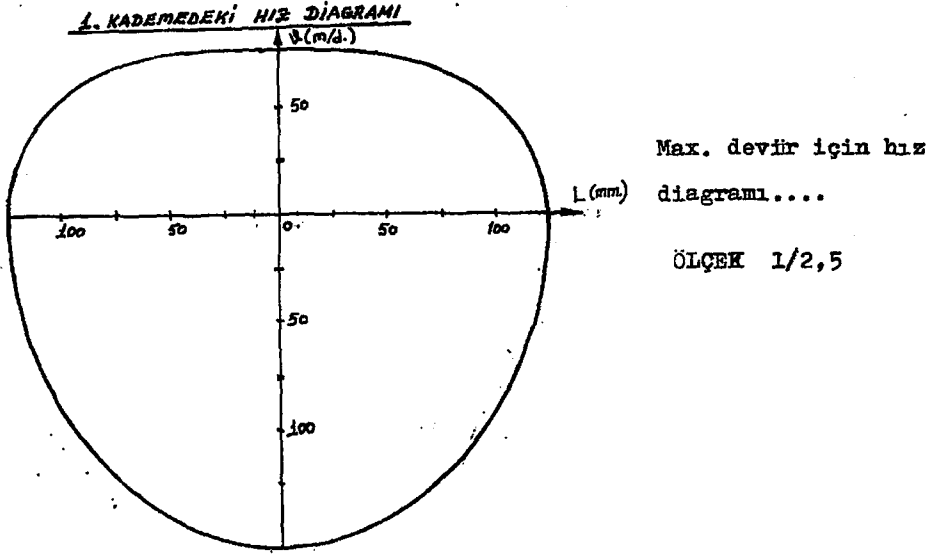
Kesici takım talaş açısının ve kesme derinliğinin kayma açısına olan etkisini araştırmak için, Çizelge 4.1’de gösterilen deney koşulları altında deneyler yapılmıştır.

Çizelge 4.1 Deney koşulları

Takım Malzemesi	H.S.S
Parça Malzemesi	α -Prinç 85/15
Takım Tezgahı	Planya
Parça Boyutları (mm)	1x140x30
Kesme Hızı (m/dakika)	30
Talaş Açısı (derece)	15-30
Kama Açısı (derece)	68-53
Boşluk Açısı (derece)	7
Dijital Kamera	PCVC/720k
Bilgisayar	Standart
Takım Boyutları (mm)	200x10x10

Görüntüyü net alabilmek için, kamera kesici takımla birlikte hareket ettirildi. Tüm talaş kaldırma işlemi bilgisayara kaydedilerek, uygun görülen kısmın fotoğrafı yazıcıdan çıkarılmıştır. Yapılan deneylerde kesme sıvısı kullanılmadı. Kesme hızını bulmak için, planya tezgahının hız diyagramı kullanıldı (Şekil 4.1). Planya tezgahının herhangi bir anındaki kesme hızını bulabilmek için, kesici takımın konumunun bilinmesi gerekir. Bu nedenle, yapılan deneyde konumu bulmak için iş parçası yüzeyi, belirli aralıklarla çizildi. Talaş kaldırılırken, bu çizgilerin vasıtasıyla önce takımın konumu ve sonra hız diyagramı kullanılarak kesme hızı

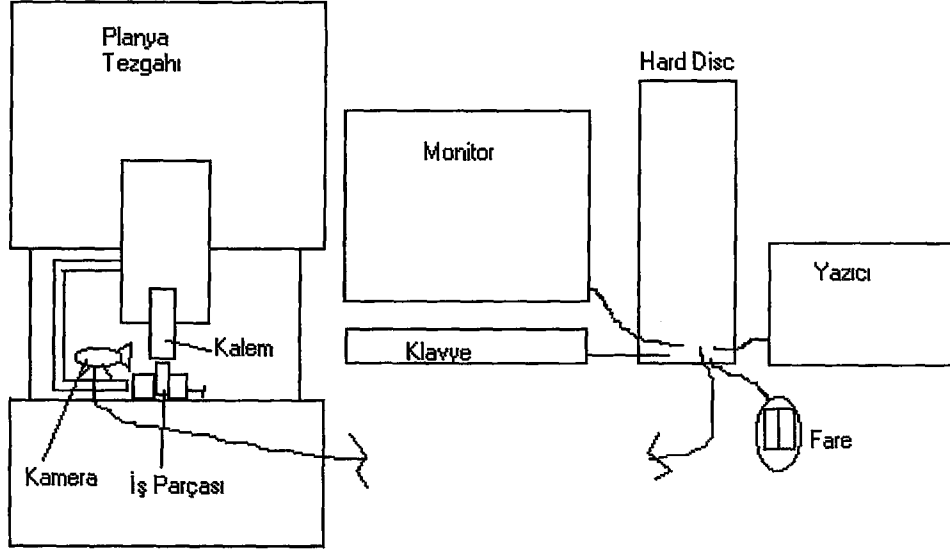
bulundu. Hesaplanan kesme hızları birbirlerine yakın olduğu için, tek kesme hızı kabul edildi.



Şekil 4.1 Planya tezgahının üç kademesindeki hız diyagramı [Karaca,1987]

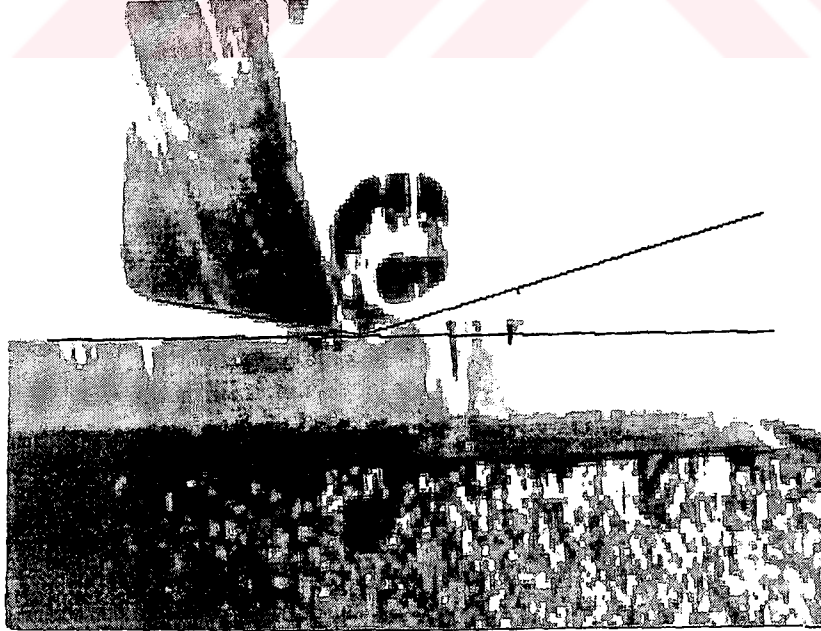
Kullanılan tezgaha ait üç kesme kademesinden, en küçük kesme hızına sahip olan üçüncü kademesi kullanıldı. Fotoğrafların çekildiği konumlar, takımın kesme işlemi başlangıç konumundan 60-70 mm mesafededir. Bu mesafeler hız diyagramında yaklaşık olarak 30 (m/d) kesme hızına karşılık gelmektedir.

Deney seti şematik olarak Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu deneydeki talaş kaldırma şekli ortagonal olarak seçildi.



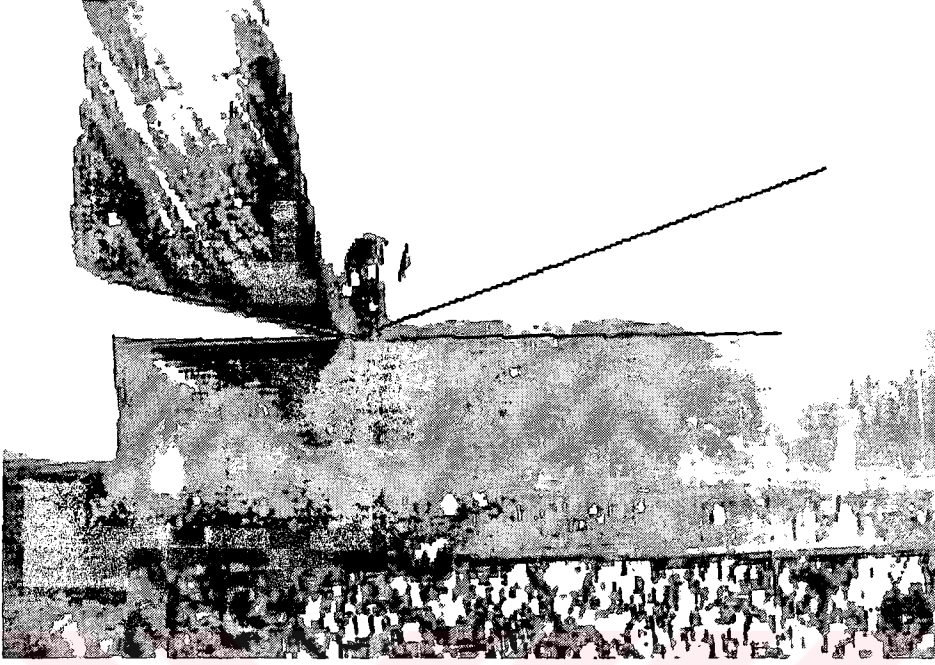
Şekil 4.2 Deney seti

Deney iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada talaş açısı 15 derece alınarak, üç ayrı kesme derinliğinde kesme işlemi uygulandı. 0.3 mm kesme derinliğinde yapılan deneyden çekilen fotoğraf, Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



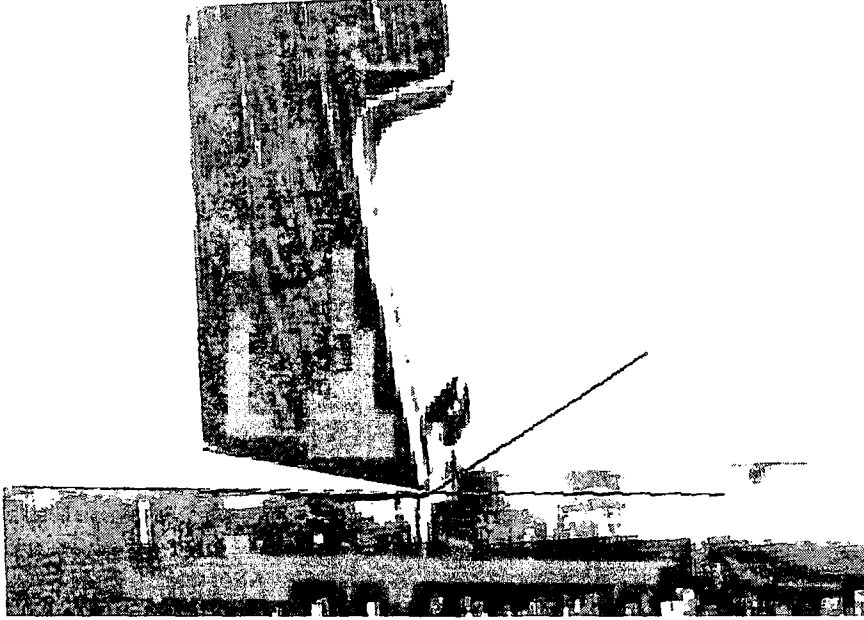
Şekil 4.3 Kesme derinliği 0.3 mm, talaş açısı 15°

Kesme derinliği 0.6 mm ve talaş açısı 15 derece olan deneyden alınan fotoğraf, Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Kesme derinliği 0.6 mm, talaş açısı 15°

Kesme derinliği 0.9 mm ve talaş açısı 15 derece olan deneyden alınan fotoğraf Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Kesme derinliği 0.9 mm, talaş açısı 15°

Talaş açısı 15 derece ve kesme derinlikleri 0.3mm, 0.6 mm, 0.9 mm seçilerek yapılan deneylere ait resimlerin üzerinden okunan kayma açıları, Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Talaş açısı, kesme derinliği ve kayma açısı ilişkisi

Talaş Açısı (derece)	Kesme Derinliği (mm)	Kayma Açısı (derece)
15	0.3	17
	0.6	19
	0.9	32

Talaş kalınlıkları oranları; 0.3 mm kesme derinliğinde 0.35, 0.6 mm kesme derinliğinde 0.36, 0.9 mm kesme derinliğinde 0.60.

Talaş kalınlığı oranı ve talaş açısı Denklem (3.4)' de kullanılırsa,

$$\tan \beta = \frac{0.35 \cos 15}{1 - 0.35 \sin 15} = 0.37, \beta = 20.1^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{0.36 \cos 15}{1 - 0.36 \sin 15} = 0.38, \beta = 21^\circ$$

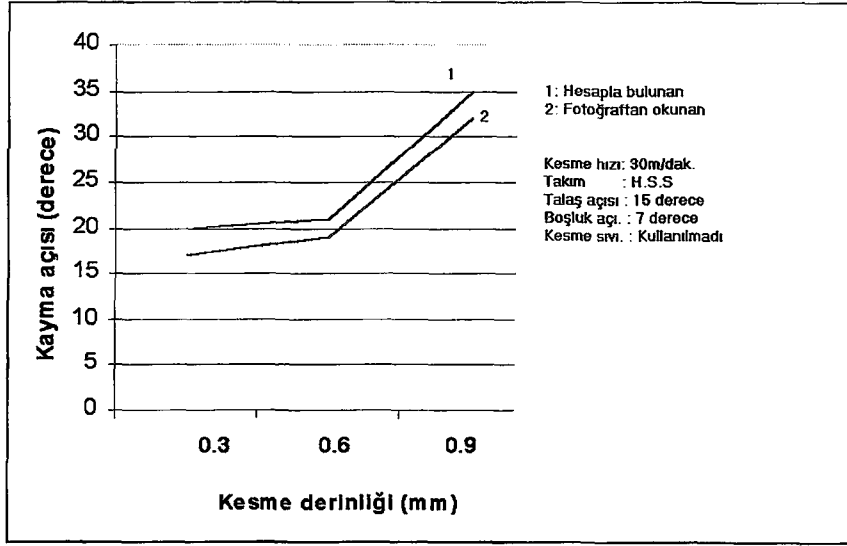
$$\tan \beta = \frac{0.60 \cos 15}{1 - 0.60 \sin 15} = 0.69, \beta = 34.5^\circ$$

kayma açıları bulunur.Çekilen fotoğraftan okunan kayma açısı ile hesaplanan kayma açıları arasındaki ilişki Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Şekildeki 1 numaralı çizgi ile gösterilen kayma açıları, hesaplama metoduyla bulundu.

Fotoğraf üzerinden okunan kayma açıları ise, 2 numaralı çizgi ile gösterildi.

Hesaplamalardan çıkan sonuçların, fotoğraflardan okunan değerlere yakın oldukları saptanmıştır. Sonuçlardaki farklılıklar, fotoğraflarda yapılan ölçüm hatalarından çıkmış olabilir.



Şekil 4.6 Ölçülen ve hesaplanan kayma açılarının karşılaştırılması, talaş açısı 15 derece

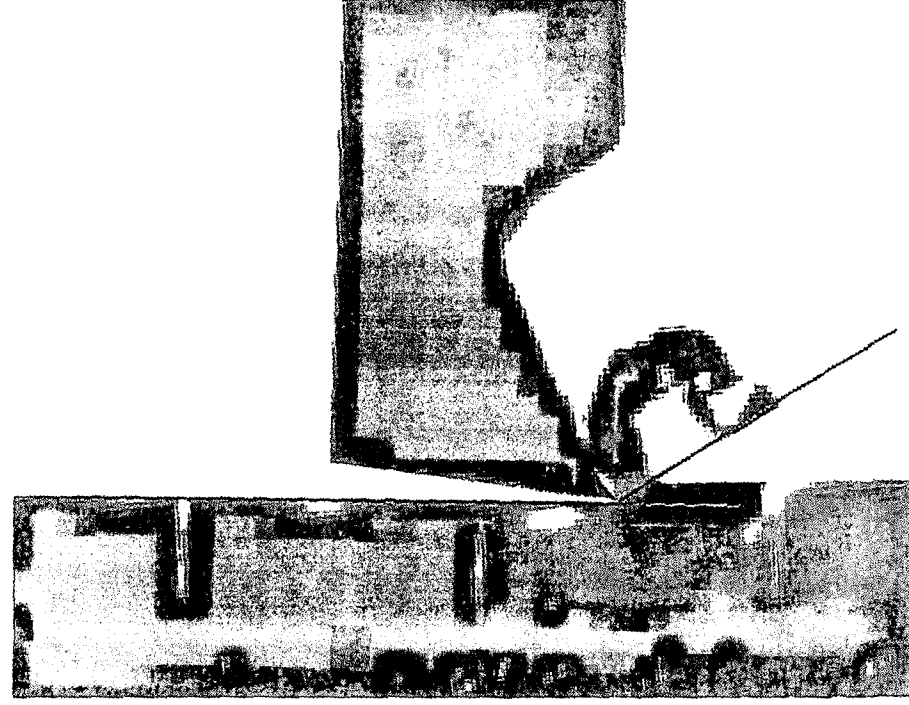
Deneyin ikinci aşamasında, talaş açısı 30 derece ve kesme derinlikleri yine 0.3 mm, 0.6 mm ve 0.9 mm olarak alındı.

Kesme derinliği 0.3 mm ve talaş açısı 30 derece olan deneyden alınan fotoğraf Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Kesme derinliği 0.3 mm, talaş açısı 30°

Kesme derinliği 0.6 mm ve talaş açısı 30 derece olan deneyden alınan fotoğraf Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Kesme derinliği 0.6 mm, talaş açısı 30⁰

Kesme derinliği 0.9 mm ve talaş açısı 30 derece olan deneyden alınan fotoğraf Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Kesme derinliği 0.9 mm, talaş açısı 30⁰

Talaş açısı 30 derece ve kesme derinlikleri 0.3mm, 0.6 mm, 0.9 mm seçilerek yapılan deneylere ait resimlerin üzerinden okunan kayma açıları, Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Talaş açısı, kesme derinliği ve kayma açısı ilişkisi

Talaş Açısı (derece)	Kesme Derinliği (mm)	Kayma Açısı (derece)
30	0.3	25
	0.6	34
	0.9	38

Talaş kalınlıkları oranları; 0.3 mm kesme derinliğinde 0.40, 0.6 mm kesme derinliğinde 0.60, 0.9 mm kesme derinliğinde 0.71.

Denklem (3.4)'de talaş kalınlığı oranı ve talaş açısı kullanılarak kayma açıları hesaplandığında,

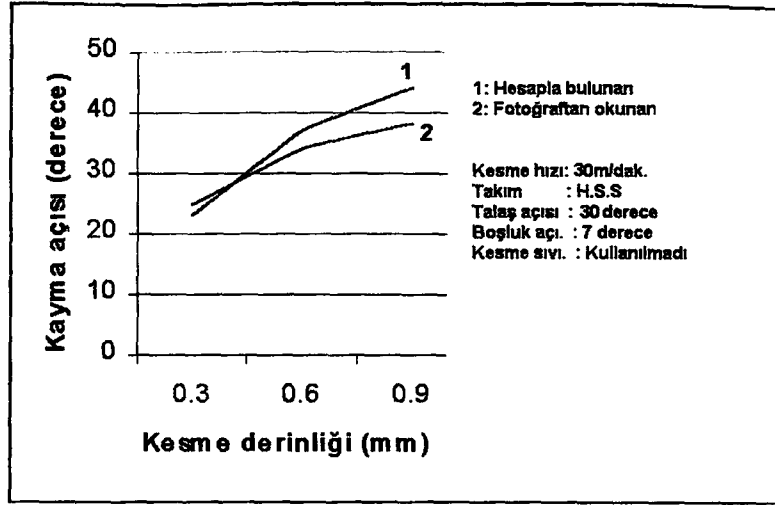
$$\tan \beta = \frac{0.40 \cos 30}{1 - 0.40 \sin 30} = 0.43, \beta = 23.41^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{0.60 \cos 30}{1 - 0.60 \sin 30} = 0.74, \beta = 36.6^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{0.71 \cos 30}{1 - 0.71 \sin 30} = 0.95, \beta = 43.6^\circ$$

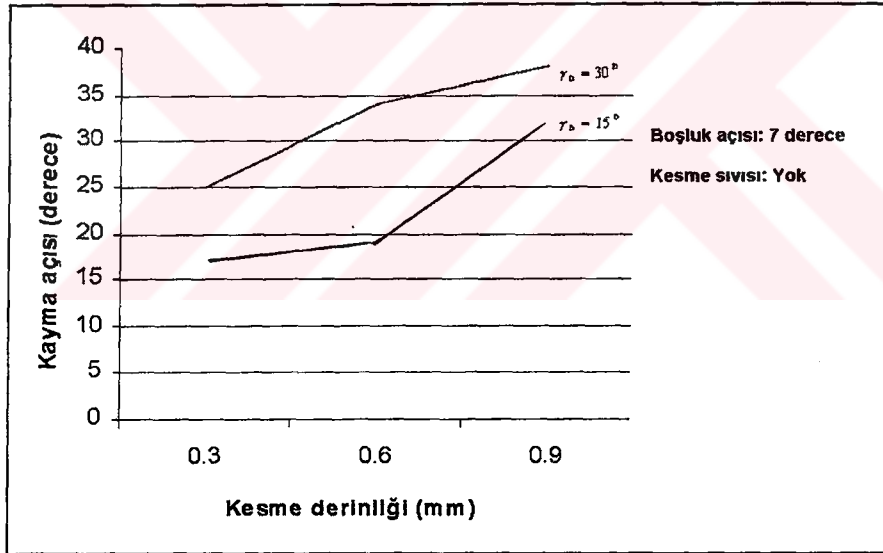
kayma açıları bulunur. Formül ile bulunan kayma açıları ve fotoğraftan okunan kayma açıları arasındaki karşılaştırma Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Deneylerden çekilen fotoğraflardan okunan kayma açıları 2 numara ile, hesaplanarak bulunan kayma açıları ise 1 numara ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Ölçülen ve hesaplanan kayma açılarının karşılaştırılması, talaş açısı 30 derece

Fotoğraf üzerinden okunan kayma açıları ile hesaplanan kayma açıları arasındaki fark, fotoğraftaki ölçüm hatalarından olabilir. Çıkarılan sonuçlar, birbirlerine yakın olmuştur. Kayma açısı ile talaş açısı arasındaki ilişki Şekil 4.11'de görülebilir.



Şekil 4.11 Deney sonuçlarına göre kayma açısı ve talaş açısı ilişkisi

Yapılan deneysel çalışmada, talaş açısı arttıkça kayma açısının arttığı ve kesme derinliği arttıkça da kayma açısının arttığı saptanmıştır.

5. SONUÇLAR

Talaş kaldırma işlemini etkileyen bir çok faktör vardır. Bunların en önemlisi kayma açısıdır. Talaş kaldırma işleminde meydana gelen kayma açısının bilinmesi çok önemlidir. Çünkü, kesme işleminin verimliliğini, işlenen iş parçasının yüzey kalitesini ve kesme kuvvetini önceden tahmin edebilmek veya hesaplayabilmek için kayma açısını bilmek gerekmektedir. Kayma açısını, teorik veya deneysel olarak belirlemek oldukça zordur. Bu açıyı saptamak için, çok sayıda deneyler ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Fakat teorik çalışmalardan çıkarılan bağıntılar, tam anlamıyla deneysel çalışmalara cevap verememektedir. Çünkü, kayma açısını etkileyen faktörlerin sayısı çoktur ve tüm faktörleri aynı denklemden kullanmak zordur. Örneğin; kayma açısını etkileyen faktörlerden birisi de kesme hızı olduğu halde, teorik kayma açısı denklemleri, bu parametreyi içermemektedir. Bu örnekleri çoğaltmak mümkündür. Yapılan bir çok deneylerden sonra, deney sonuçlarına oldukça yakın ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu ampirik bağıntılarda, pratiğe uygun parametreler kullanılmıştır. Örneğin; kesme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelerin bağıntılarda kullanılması, kayma açısının hesaplanmasında kolaylık sağlar. Bu nedenle, kayma açısını hesaplamak için, deneysel ve teorik çalışmalar devam etmektedir ve teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar tam olarak uyuşuncaya kadar, bu çalışmalar devam edecektir.

Kayma açısını artıran veya azaltan faktörler çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. İncelemeler, teorik ve deneysel çalışmaları içermektedir. Teorik ve deneysel çalışmalarda; kayma açısını etkileyen faktörler ve etkileme şekilleri, birbirlerini desteklemiştir. Kayma açısını etkileyen faktörler, teorik ve deneysel çalışmalara göre aşağıda özetlenmiştir.

Etkileyen faktörlerden en önemlisi, talaş açısı olarak saptanmıştır. Tüm çalışmalara göre, talaş açısı arttıkça kayma açısı da artar. Yani, talaş açısı yüksek olursa hem kayma açısı yüksek olur ve hem de bu nedenle, daha küçük kesme kuvvetiyle talaş kaldırma imkanı doğar.

Kayma açısını etkileyen diğer bir faktör de, iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısının yüksek olması demek, kayma açısının küçük olması demektir. Deneysel çalışmalara ve teorik bağıntılara göre bu sonuç çıkarılmıştır. Bu nedenle, sürtünme katsayısını düşürmek için kesme sıvıları kullanılmalıdır. Her kesme sıvısının sürtünme katsayısı farklı olduğu için, kesme sıvısının cinsine göre de kayma açısı değişmektedir. Talaş- takım arakesitinde oluşan sürtünme kuvveti veya sürtünme katsayısının değerini, dolayısıyla kayma açısını etkileyen diğer bir faktör de, kullanılan kesici takımın malzemesidir. Büyük bir oranda, kesici takımın sertliği ve aşınma mukavemeti arttıkça,

kayma açısının değeri artar. Çünkü, sertlik ve mukavemet yükseldikçe, takımın aşınması azalır. Takımın aşınması az olduğunda, takım- talaş arasında olacak olan sürtünme katsayısı düşecektir. Diğer bir ifadeyle, kayma açısı büyük olacaktır. Takımın kaplanması, kayma açısını artırıcı yönde bir etkisi vardır. Çünkü, sertlik ve mukavemet yükseleceğinden kayma açısının değeri büyük olur. Diğer taraftan, kaplama tabakasının özellikleri ve kaplama yöntemleri, kayma açısının değerini değiştirir.

İş parçasının yüzey eğimi durumuna göre, kayma açısı değişmektedir. Parçanın eğimi negatif olduğunda, bu oranda kayma açısı azalır. Pozitif olduğunda yine bu oranda, kayma açısı değeri artar. Bu konuda, teoriler ve deneysel çalışmalar birbirlerini desteklemektedir. Herhangi bir iş parçasının yüzey eğimi sıfırken oluşan kayma açısına, yüzey eğimi ilave edilerek, iş parçasının kayma açısı değeri yaklaşık olarak bulunabilir. Aynı şekilde, kalemin salgılı hareketiyle yapılan kesme işleminde, meydana gelen kayma açısı bulunabilir.

Talaş kalınlığı oranı, kayma açısını değiştiren diğer bir parametredir. Kesici takımın talaş yüzeyinden geçen talaşın kalınlığı arttıkça kayma açısı azalır. Çünkü, talaş kalınlığı oranı düşer. Bununla ilgili yapılan deneysel çalışmalardan ve teorik çalışmalardan çıkan sonuçlar, birbirlerine yakındır.

İş parçası malzemesi özellikleri ile kayma açısı arasında net bir teorik bağlantı yoktur. Ancak, malzemeye bağlı sabit katsayılar, deneyler sonunda elde edilmiştir ve ampirik formüllere ilave edilmiştir. Diğer taraftan, iş parçası sertliği ile kayma açısı arasındaki ilişki deneysel olarak araştırılmıştır ve iş parçası sertliği ile kayma açısı arasında bir doğru orantının olduğu kabul edilmiştir. Yani , iş parçasının sertliği arttıkça kayma açısı artmıştır.

Kesme derinliğiyle, takım ilerlemesiyle, iş parçasının devir sayısı ve ivmeli talaş kaldırmayla, kayma açısı arasında da ilişki olduğu saptanmıştır. Bu parametreleri içeren teorik kayma açısı bağlantısı, tatmin edecek şekilde mevcut değildir. Fakat, bu konuyla ilgili olarak bir çok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda, bu parametrelerin artması kayma açısını artırır sonucu çıkarılmıştır.

Bu çalışmada, kesme derinliğinin ve talaş açısının kayma açısına olan etkisi, deneysel olarak incelendi. Deneyde, talaş açıları 15° ve 30° seçilerek farklı kesme derinliklerinde (0.3 mm, 0.6 mm ve 0.9 mm), α -Prinç 85/15 malzemesinden talaş kaldırıldı. Talaş kaldırma işleminde planya tezgahı ve dijital bilgisayar kamerası kullanılarak, talaş kaldırma işlemi video filmi şeklinde kaydedildi. Gerekli olan fotoğraflar alınarak kayma açıları saptandı.

Kesme hızı 30 (m/dakika) ve talaş açısı 30° alınarak yapılan deneyden; 0.3 mm kesme derinliğinde kayma açısı 25° , 0.6 mm kesme derinliğinde kayma açısı 34° , 0.9 mm kesme derinliğinde kayma açısı 38° sonuçları saptandı.

Kesme hızı 30 (m/dakika) ve talaş açısı 15° alınarak yapılan deneyden; 0.3 mm kesme derinliğinde kayma açısı 17° , 0.6 mm kesme derinliğinde kayma açısı 19° , 0.9 mm kesme derinliğinde kayma açısı 32° sonuçları elde edildi.

Yapılan deneylerden, kesme derinliği ve talaş açısı arttığında kayma açısı değerlerinin arttığı görüldü. Bulunan bu sonuçların, kayma açısı teorilerine ve literatürde belirtilen sonuçlara uygun olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

Akkurt, M.(1998), Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Bhattacharyya, A. (1984), Metal Cutting Theory and Practice, New Central Book Agency (P) Ltd Calcutta, İngiltere.

Boothroyd, G. (1970), "Effect of Surface Slope on Shear Angle in Metal Cutting", Journal of Engineering for Industry, 25:115-118

Drozda, T.J. (1983), Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Volume 1 Machining, Amerika

Jain, V.K. ve Bandyopadhyay, D.K. (1985), "Shear Angle During Accelerated Cutting: Response Surface Approach", International Journal of Machine Tool and Research, 26:35-50.

Karaca, T. , (1987), "Lisans Bitirme Tezi" Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

King, R. I. (1985), Handbook of High- Speed Machining Technology, Chapman and Hall Ltd, İngiltere.

Klamecki, B. E. , (1998), "www.menet.umn.edu/~klamecki/Machining/chipformation2.html" İnternet.

Kobayashi, S. ve Shabaik, A. (1964), "Chip Formation With Varying Undeformed Chip Thickness at Very Slow Speed", Journal of Engineering for Industry, 30:389-394.

Kürkçüoğlu, N. (1977), Fizik- Mekanik ve Isı, Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti. , İstanbul

Özgürler, M., (2001), "Yüksek Lisans Talaşlı İmalat Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Shaw, M.C. ve Smith, P.A. (1961), "Cutting Forces; Surface Finish and Chip Formation", Journal of Engineering for Industry, 18:181-192.

Ueda, N. ve Matsuo, T. (1986), "An Investigation of some Shear Angle Theories", Annals of the CIRP, 35:27-30.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	31.01.1970	
Doğum yeri	Ordu	
Lise	1984-1987	Paşabahçe Ferit İnal Lisesi
Lisans	1988-1992	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1993- 2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

