

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIM İLE
ORTOGONAL TALAŞ KALDIRMADA MALZEME AKIŞI
İLE KESME KUVVETLERİNİN İNCELENMESİ ve
MODELLENMESİ**

Makine Yük. Müh. Sabri ÖZTÜRK

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 20 Mart 2009
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER (YTÜ)
: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR (UÜ)
: Prof. M. Emin YURCİ (YTÜ)
: Doç. Dr. Haydar LİVATYALI (İTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	15
2. KONUYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
2.1 Negatif Talaş Açılı Takımlarla Talaş Kaldırma Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar	21
2.2 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımla Talaş Kaldırma Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar	30
3. KAYMA HATTI MODELLERİ	47
3.1 Kayma Hatları	47
3.2 Kayma Hattı Modelleme	48
3.2.1 Negatif Talaş Açılı Takımlarla Talaş Kaldırma İçin Kayma Hattı Modelleme	50
3.2.1.1 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Yeni Kayma Hattı Modelinin Matematiksel Bağlıntıları	52
3.2.1.1.1 Modeldeki Kayma Hatları Arası İlişkiler	52
3.2.1.1.2 Hodograftaki Kayma Hatları Arası İlişkiler	53
3.2.1.2 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Bileşke Kuvvetin Hesabı	54
3.2.2 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlarla Talaş Kaldırma İçin Kayma Hattı Modelleme	56
3.2.2.1 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Yeni Kayma Hattı Modelinin Matematiksel Bağlıntıları	58

3.2.2.1.1	Modeldeki Kayma Hatları Arası İlişkiler.....	59
3.2.2.1.2	Hodograftaki Kayma Hatları Arası İlişkiler.....	61
3.2.2.2	Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Bileşke Kuvvetin Hesabı.....	61
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	64
4.1	İş Parçası Malzemesi.....	64
4.2	Kesici Takımlar	65
4.3	Deney Ekipmanı.....	66
4.4	Talaş Kaldırma Şartları ve Deneyin Uygulanışı	71
4.4.1	Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Uygulama	72
4.4.2	Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Uygulama	78
4.5	Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	81
4.5.1	Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Deneysel Sonuçlar	81
4.5.2	Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Deneysel Sonuçlar.....	92
4.5.2.1	Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlarla Talaş Kaldırmada Malzeme Akışı	105
5.	YENİ KAYMA HATTI MODELLERİNİN DENEYSEL VERİLERLE ANALİZLERİ.....	111
5.1	Negatif Talaş Açılı Takım İle Talaş Kaldırmaya Ait Ölü Bölge ve Kayma Hattı Açılarının Değişimi.....	111
5.2	Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takım İle Talaş Kaldırmaya Ait Ölü Bölge ve Kayma Hattı Açılarının Değişimi.....	116
6.	SONUÇ	132
	KAYNAKLAR.....	137
	ÖZGEÇMİŞ.....	141

SİMGE LİSTESİ

c	Sabit sayı
F	Bileşke kuvvet
F_c	Kesme kuvveti
F_t	Radyal kuvvet
G, P, P^*	Temel matris operatörleleri
Q, Q^*, R	Temel matris operatörleleri
h_c	Talaş kalınlığı
k	Akma gerilmesi
R	Talaş kaldırma kuvvet vektörü
r	Kesici ağız yarıçapı
t_1	Kesme derinliği
V_c	Kesme hızı
w	İşleme genişliği
α	Kayma hattı eğrisi
α_1	İş parçası serbest yüzeyiyle AK kayma yüzeyi arasındaki açı
α_2	Talaş serbest yüzeyiyle AK kayma yüzeyi arasındaki açı
α_{cr}	Kritik talaş açısı
β	Kayma hattı eğrisi
γ	Talaş açısı
γ_0	Talaş yüzeyi ile kesme hızının normali ile arasındaki eğim
δ	Takım talaş arasındaki sürtünme açısı
η_1	JEH üçgen bölgesindeki kayma hattı açısı
η_2	KCB üçgen bölgesindeki kayma hattı açısı
θ_1	Kayma hattı açısı
θ_2	Kayma hattı açısı
θ_3	Kayma hattı açısı
θ_4	Kayma hattı açısı
θ_5	Kayma hattı açısı
θ_6	Kayma hattı açısı
θ_7	Kayma hattı açısı
θ_s	S noktasının yerini belirleyen açı
λ	Sürtünme Açısı
ξ	Ayrılma noktası açısı
ρ	Kayma hattı bölgesindeki kayma hızı
σ_1	JE için kayma hattı vektörü
σ_2	HK için kayma hattı vektörü
σ_3	GP için kayma hattı vektörü
ϕ	Kayma düzleminin yatayla yaptığı açı
ψ	GPJ üçgen bölgesindeki kayma hattı açısı
ω	Açısal hız

KISALTIMA LİSTESİ

AC	Alternatif akım
ADC	Ani duruş cihazı
ASM	American Society for Metals
AISI	American Iron and Steel Institute
C	Karbon
CBN	Kübik borun nitrür
CT	Control Techniques
Cu	Bakır
dak	Dakika
DIN	Deutsche Industrie Norm
FE	Sonlu elemanlar
Fe	Demir
FEM	Sonlu elemanlar yöntemi
gr	Gram
HV	Vickers sertliği
kg	Kilogram
kw	Kilowatt
m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
N	Nevton
Nm	Nevtonmetre
P	Fosfor
Pb	Kurşun
PCBN	Çok kristalli kübik borun nitrür
SEM	Scanning electron microscope
Sn	Kalay
sn	Saniye
Zn	Çinko
µm	Mikrometre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Ortogonal talaş kaldırma modeli ve kuvvet diyagramı (Merchant, 1944).....	18
Şekil 2.2	Negatif talaş açılı bir kesici takım	19
Şekil 2.3	Talaş kaldırma modeli (Connolly R.ve Rubenstein C., 1968).....	22
Şekil 2.4	Negatif talaş açılı takımla talaş kaldırmada malzeme akışı (Komanduri R., 1971)	22
Şekil 2.5	Negatif talaş açılı takımla talaş kaldırmada kuvvet değişimi (Komanduri R., 1971)	24
Şekil 2.6	Pirinç ve çinko için farklı negatif talaş açılarına göre kuvvet bileşenleri, nom. kesme derinliği = 0,1 mm (Abdelmoneim M. Es. ve Scrutton R.F., 1973)	25
Şekil 2.7	Kesme derinliğine göre kuvvet oranlarının değişimleri (Kopalinsky E. M. ve Oxley P. L. B., 1984)	26
Şekil 2.8	Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi (Günay M. v.d., 2004).....	27
Şekil 2.9	Mikrografikle kesit alanında gözlenen 5 bölge (Kıta Y., Hata S. ve Ido M.)...	27
Şekil 2.10	a) Geniş negatif talaş açılı takım için model b) hodograf (Fang N., 2004)	29
Şekil 2.11	Talaş kaldırmada deformasyon bölgeleri (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)	32
Şekil 2.12	Kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmada ölü bölge formu. $r = 0,05$ mm, $t_1 = 0,17$ mm, $\gamma = 35^\circ$ (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)	32
Şekil 2.13	Ölü bölge formları (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)	33
Şekil 2.14	Farklı kesici ağız yarıçaplarında kesme derinliği ile kesme kuvvet ve radyal kuvvet ilişkileri a) Pirinç, $v = 30$ m/dak., $\gamma = 10^\circ$; b) Çelik, $\alpha = 8^\circ$ (Okushima K. ve Kakino Y., 1969)	35
Şekil 2.15	Farklı kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliğinde kesme kuvveti ve radyal kuvvet ilişkisi (Okushima K.ve Kakino Y., 1969).....	35
Şekil 2.16	Dalma kuvveti ve kesici ağız yarıçapı ilişkisi (Okushima K. ve Kakino Y., 1969)	36
Şekil 2.17	Farklı kesme hızlarında kesme derinliği ile kesme kuvveti ve radyal kuvvet ilişkisi (Okushima K.ve Kakino Y., 1969)	37
Şekil 2.18	Kesme kuvvetlerinin birim genişliğe göre değişimi (Manjunathaiah J.ve Endres J.W., 1996).....	39
Şekil 2.19	Ft/Fc oranının t/r oranına göre değişimi (Manjunathaiah J. ve Endres J.W., 1996)	39
Şekil 2.20	Kesici ağzı yuvarlatılmış takımla talaş kaldırma modeli (Manjunathaiah J.ve Endres J.W., 2000).....	41
Şekil 2.21	a) Kesici ağzı yuvarlatılmış takım için kayma hattı modeli b) hodograf (Fang N., 2003a).....	43
Şekil 2.22	Kesici ağzı yuvarlatılmış takımla talaş kaldırma için kayma hattı modeli (Fang N.ve Fang G., 2007).....	45
Şekil 3.1	Birinci sınır değer problemi ve kesişen iki kayma eğrisi (Johnson, Sowerby ve Haddow, 1970).....	47
Şekil 3.2	Talaş kaldırma işleminde malzeme akışı ve kayma hattı teorisi (Thomas C. v.d., 2000).	49
Şekil 3.3	Fang v.d.'nin kayma hattı modeli (2001).....	49
Şekil 3.4	Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modeli	51

Şekil 3.5	Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı model için hodograf	52
Şekil 3.6	Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modeli	57
Şekil 3.7	Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı model için hodograf	57
Şekil 4.1	TPGN 160308 kodlu takım ucunun teknik resmi	65
Şekil 4.2	Kesici takım	66
Şekil 4.3	Planyalama esaslı talaş kaldıran ani duruş cihazı	67
Şekil 4.4	Tasarlanıp imal edilen mengene	68
Şekil 4.5	Dijital komperatör	69
Şekil 4.6	Zımparalama ve Parlatma makineleri	70
Şekil 4.7	Video okülere sahip XJP-2 model mikroskop ve bilgisayar.....	71
Şekil 4.8	Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -10^\circ$)	73
Şekil 4.9	Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -30^\circ$)	73
Şekil 4.10	Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -50^\circ$)	73
Şekil 4.11	Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -70^\circ$)	74
Şekil 4.12	Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -20^\circ$)	74
Şekil 4.13	Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -40^\circ$)	74
Şekil 4.14	Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi($\gamma = -60^\circ$)	75
Şekil 4.15	N001 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)	81
Şekil 4.16	N001 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (sağ)	81
Şekil 4.17	N048 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)	82
Şekil 4.18	N048 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (arka)	82
Şekil 4.19	Kesme (F_c) ve radyal (F_t) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi ($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,05$ mm)	83
Şekil 4.20	Kesme (F_c) ve radyal (F_t) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi ($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,1$ mm)	83
Şekil 4.21	Kesme (F_c) ve radyal (F_t) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi ($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,15$ mm)	84
Şekil 4.22	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (F_c) değişimi ($V_c=0,25$ m/dak)	84
Şekil 4.23	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (F_c) değişimi ($V_c=0,5$ m/dak)	85
Şekil 4.24	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (F_c) değişimi ($V_c=0,75$ m/dak)	85
Şekil 4.25	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (F_t) değişimi ($V_c=0,25$ m/dak)	86
Şekil 4.26	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (F_t) değişimi ($V_c=0,5$ m/dak)	86
Şekil 4.27	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (F_t) değişimi ($V_c=0,75$ m/dak)	87
Şekil 4.28	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($V_c=0,25$ m/dak)	87
Şekil 4.29	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($V_c=0,50$ m/dak)	88
Şekil 4.30	Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($V_c=0,75$ m/dak)	88

Şekil 4.31	Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=50\mu m$).....	89
Şekil 4.32	Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=100\mu m$).....	89
Şekil 4.33	Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=150\mu m$).....	90
Şekil 4.34	Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada malzeme akışı.....	91
Şekil 4.35	R004 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)	92
Şekil 4.36	R004 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (sağ)	92
Şekil 4.37	R0045 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)	93
Şekil 4.38	R0045 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)	93
Şekil 4.39	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 50\mu m$)	94
Şekil 4.40	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 100\mu m$)	94
Şekil 4.41	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 150\mu m$)	95
Şekil 4.42	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 50\mu m$) ..	95
Şekil 4.43	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 100\mu m$) .	96
Şekil 4.44	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 150\mu m$)	96
Şekil 4.45	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,25$ m/dak)	97
Şekil 4.46	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,50$ m/dak)	97
Şekil 4.47	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,75$ m/dak)	98
Şekil 4.48	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 50\mu m$)	98
Şekil 4.49	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 100\mu m$)	99
Şekil 4.50	Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 150\mu m$)	99
Şekil 4.51	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 50\mu m$)	100
Şekil 4.52	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 100\mu m$)	100
Şekil 4.53	Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 150\mu m$)	101
Şekil 4.54	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,25$ m/dak)	101
Şekil 4.55	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,50$ m/dak)	102
Şekil 4.56	Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,75$ m/dak)	102
Şekil 4.57	Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1=100 \mu m$, $V_c = 0,25$ m/dak)	103
Şekil 4.58	Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1 =100 \mu m$, $V_c = 0,50$ m/dak) ...	103
Şekil 4.59	Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1 =100 \mu m$, $V_c = 0,75$ m/dak) ...	104
Şekil 4.60	Kesici ağız yuvarlatılmış takım için ayrılma noktası ve ayrılma açısı	106
Şekil 4.61	Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 50 \mu m$, $V_c = 0,25$ m/dak, $t_1 = 100 \mu m$)	106
Şekil 4.62	Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 50 \mu m$, $V_c = 0,25$ m/dak, $t_1 = 150 \mu m$)	107
Şekil 4.63	Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu m$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 50 \mu m$)	107
Şekil 4.64	Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu m$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 100 \mu m$)	108
Şekil 4.65	Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 150 \mu m$, $V_c = 0,75$ m/dak, $t_1 = 100 \mu m$)	108

Şekil 4.66	ξ ayrılma noktası açısının r/t_1 'a göre değişimi.....	109
Şekil 4.67	Kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmada malzeme akışı	110
Şekil 5.1	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($t_1 = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $\gamma = -70^\circ$)	112
Şekil 5.2	Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi ($k.t_1.w = 12,45$)	113
Şekil 5.3	Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi ($k.t_1.w = 24,9$)	113
Şekil 5.4	Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi ($k.t_1.w = 37,35$)	114
Şekil 5.5	Negatif talaş açısına göre kayma hattı modeline ait açılarının değişimi ($k.t_1.w = 12,45; 24,9; 37,35$)	114
Şekil 5.6	Negatif talaş açısına göre η, δ kayma hattı açılarının değişimi ($k.t_1.w = 12,45; 24,9; 37,35$)	115
Şekil 5.7	Negatif talaş açısına göre α_1 kayma hattı açısının değişimi	115
Şekil 5.8	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	117
Şekil 5.9	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	117
Şekil 5.10	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)	118
Şekil 5.11	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	118
Şekil 5.12	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	119
Şekil 5.13	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)	119
Şekil 5.14	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	120
Şekil 5.15	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)	120
Şekil 5.16	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)	121
Şekil 5.17	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)	121
Şekil 5.18	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)	122
Şekil 5.19	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 6^\circ$, $r = 50 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)	122
Şekil 5.20	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 6^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)	123
Şekil 5.21	Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma = 6^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)	123
Şekil 5.22	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $k.t_1.w = 12,45$)	124
Şekil 5.23	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $k.t_1.w = 24,9$)	125
Şekil 5.24	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $k.t_1.w = 37,35$)	125

Şekil 5.25	Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t ₁ .w =12,45).....	126
Şekil 5.26	Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t ₁ .w =24,9; 37,35).....	126
Şekil 5.27	Kesici ağız yarıçapına göre α_1 açısının değişimi ($\gamma=0^\circ$).....	127
Şekil 5.28	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t ₁ .w =12,45).....	127
Şekil 5.29	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t ₁ .w =24,9).....	128
Şekil 5.30	Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t ₁ .w =37,35).....	128
Şekil 5.31	Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t ₁ .w =12,45).....	129
Şekil 5.32	Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t ₁ .w =24,9; 37,35).....	129
Şekil 5.33	Kesici ağız yarıçapına göre α_1 açısının değişimi ($\gamma=6^\circ$).....	130

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Negatif talaş açısına göre δ ve τ/k değerleri	55
Çizelge 3.2	Negatif talaş açısına göre P_A/k değeri	55
Çizelge 3.3	Kesici ağız yarıçapına göre δ ve τ/k değerleri ($\gamma=0^\circ$)	62
Çizelge 3.4	Kesici ağız yarıçapına göre δ ve τ/k değerleri ($\gamma=6^\circ$)	62
Çizelge 3.5	Kesici ağız yarıçapına göre P_A/k değeri ($\gamma=0^\circ$)	62
Çizelge 3.6	Kesici ağız yarıçapına göre P_A/k değeri ($\gamma=6^\circ$)	63
Çizelge 4. 1	Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesinin spesifikasyonu	64
Çizelge 4.2	Negatif talaş açılı takım ile yapılan deneyler (kesici takım TPGN 160308; malzeme CuZn30).....	76
Çizelge 4.3	Hazırlanan dağlama çözeltisi bileşenleri (ASM Vol. 9)	78
Çizelge 4.4	Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile yapılan deneyler (malzeme CuZn30) ...	79

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başından sonuna kadar hazırlanmasında yardımını ve önerilerini esirgemeyen, teşvikleriyle destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Öneri ve teşviklerini esirgemeyen tez danışmanlarım Sn. Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR'a ve Sn. Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER'e, juri üyeleri Sn. Prof. M. Emin YURCİ'ye ve Sn. Doç. Dr. Haydar LİVATYALI'ya teşekkürlerimi sunarım. Bu tezin tamamlanmasında yardımlarını ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim eşim Seyhan'a ve kızım Meryem'e, anneme, babama ve kardeşlerime, anneanneme, kuzenlerim Halit SEZGİN'e ve Adem SAYGIN'a, amcama, bana çalışmalarımnda manevi desteklerini esirgemeyen amirlerime ve mesai arkadaşlarım Mak. Müh. İbrahim TURAL'a, Mak. Müh. Murat PINAR'a, Elektrik Müh. M. Cem ERTAM'a, Mak. Müh. Mehmet AVCI'ya, Endüstri Müh. Mehmet BABACAN'a, Mak. Müh. İnanç UÇANOK'a, Elektrik Müh. Orhan KARANFİL'e, Mak. Müh. Fatih GÜRSES'e, Mak. Müh. Mustafa ESMER'e, Mak. Müh. Tugay DİŞBUDAK'a, Mak. Müh. Ö. Faruk İBRAHİMAĞAOĞLU'na, Metalürji Müh. Gökhan DOĞAN'a, Mak. Müh. M. Emre ÇELTİK'e, Elektrik ve Elektronik Müh. İbrahim ADAR'a, Metalürji Yük. Müh. Ramazan TÜTÜK'e, Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Hacı Şaban CELAYİR'e, Mak. Müh. Hanifi TAŞDEMİR'e, Mak. Yük. Müh. Tamer ÇOBANOĞLU'na teşekkür ederim.

ÖZET

Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma esnasında talaş yüzeyinin önünde küçük bir ölü bölgenin oluştuğu deneysel çalışmalardan görülmüştür. Takımın önündeki bu ölü bölgenin, iş parçası malzemesinin plastik akışını belirlediği kabul edilir. Negatif talaş açılı kesici takımlar ile metalin talaş kaldırılmasına ait kayma hatlarına dayalı bazı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin bir kısmında ölü bölge tanımlanmış, bazılarında ise dikkate alınmamıştır. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırıldığında, negatif talaş açılı takımlarda görülen ölü bölgenin oluştuğu saptanmıştır. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait kayma hattına dayalı bazı modeller de oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda, kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait modeller, negatif talaş açılı modellerle birlikte ele alınarak incelenmemiştir. Kesme parametlerine bağlı kalınarak ve deneysel verilerden faydalanarak ölü bölgenin değişimi dolayısıyla malzemenin akışı da araştırılmamıştır.

Bu çalışmada, belirtilen konular negatif talaş açılı ve kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma mekanizmaları, yeni modeller oluşturularak ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Negatif talaş açısı büyüdükçe kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmakta, ölü bölge büyümektedir. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarda kesici ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvveti, radyal kuvvet ve ölü bölge büyümektedir. Talaş kaldırma esnasında malzeme akışını yönlendiren ayrılma noktasının yeri deney verileriyle belirlenmiş, kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliğine bağlı matematiksel bağıntı oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: kesici ağzı yuvarlatılmış takım, negatif talaş açılı kesici takım, ayrılma noktası, kayma hattı

ABSTRACT

According to experimental work the conclusion that a small dead region is seen in front of the rake face of tool during cutting with negative rake cutting tool has been come. It is assumed that this dead region in front of the tool defines the plastic flow of material of work piece. Some models based on slip lines of the metal cutting with negative rake cutting tools have been developed. Dead region has been defined in some of these models but it has not been taken in consideration in others. It has been stated that the dead zone seen with negative rake angle tools is formed during machining with edge radiused tools. Some new models based on the slip line belonging to machining with edge radiused cutting tools have also been developed. In these works, models belonging to machining with cutting edge radiused tools have not been discussed and examined with negative rake angle models. Flow of the material due to variation of dead zone also has not been investigated by sticking to the cutting parameters and by taking the advantage of experimental data.

In this work, cited topics, machining mechanisms with negative rake angle and edge radiused tools has been examined with experimental works by developing new models. Cutting forces and thrust forces grow, dead zone enlarges as the negative rake angle increases. Cutting force, thrust force and dead zone grow as cutting edge radius increases in cutting edge radiused tools. Position of the stagnation point, that directs the material flow during machining, has been determined by experimental data and a mathematical correlation based on the cutting edge radius and cutting depth has been developed.

Keywords: edge radiused tool, negative rake cutting tool, the stagnation point, slip line.

1. GİRİŞ

Talaş kaldırma işlemi, eski çağlardan beri kullanılan bir yöntemdir. 1700’lerde torna tezgahının icadından itibaren talaş kaldırma işleminin temel esaslarında önemli bir değişiklik olmamıştır. İşleme zamanının azaltılması ve bilinçli tüketicilerin oluşmasıyla karlılık yükselmeye başlamış, üreticiler daha üstün özelliklere sahip talaş kaldırma takımları geliştirmişlerdir. Bu yüzyılda ise, NC, CNC ve DNC tezgahların üretilmesi, esnek ve hızlı üretim sistemlerindeki gelişme sayesinde verimlilik ve kalite artmıştır.

Yarım asırdan beri, talaş kaldırma işlemlerini anlamak, modellemek ve talaş kaldırma performansını yükseltmek için oldukça fazla çaba gösterilmiştir. Başlangıçta, talaş oluşum mekanizmasının anlaşılmasına çalışılmış; daha sonra araştırmacılar talaş kaldırma işlemi için teori oluşturma yolunda gayret sarf etmişlerdir. Talaş kaldırma sisteminin dinamiği ile de dikkate değer uğraş verilmiştir. Bu yüzyılda, talaş kaldırma teknolojisinde takım dizaynı ve geliştirilmesi için hızlı, talaş kaldırma prosesinin temellerinin anlaşılması için oldukça yavaş bir gelişim sağlanmıştır. Talaş kaldırma işleminin teorik olarak anlaşılmasında zorlukla karşılaşmıştır. Bu zorluklar malzemenin serbest akışı, büyük gerinimler, yüksek deformasyon hızları, yüksek gerilimler ve sıcaklıklar, karmaşık sürtünme davranışları ve değişkenler arası ilişkilerdir.

Talaş kaldırma işleminde takım geometrisi önem arz eder ve talaş açısı etkin rol oynar. Talaş açısı pozitif veya negatif olabilir. Negatif talaş açılı takımlarla talaşlı işlemede, kesici takım kamasının dayanımı artar, takımın kesen ağzından takımın sapına ısı iletimi iyileşir ve takım ömrü pozitif talaş açılı kesici takımlara göre daha uzundur. Bu özelliklerden ötürü, negatif talaş açılı tek kesen ağızlı takımlar yaygın şekilde kullanılır. Takımın kesici ağız yarıçapından daha küçük kesme derinliklerinde, hassas ve mikro talaş kaldırmada, takım negatif talaş açılı geometri gösterir. Bütün bu uygulamalar, negatif talaş açılı geometrilerle talaş kaldırma mekanizmasının daha iyi anlaşılmasının gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, planyalama esaslı talaş kaldıran bilgisayar kontrollü ani duruş cihazı tasarlanıp imal edildi. Bu cihaz sayesinde, istenilen kesme hızında ve kesme mesafesinde ani duruş işlemi yapılabilmektedir.

Bu çalışma iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda, negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma ele alınmış, Ani Duruş Cihazı ile iş parçasından negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırılırken talaş oluşumu gözlenerek, kesme kuvvetleri (cutting forces) ve radyal kuvvetler (thrust forces) ölçülmüştür. Kuvvet ölçümleri sırasıyla 0° , -10° , -20° , -30° , -40° , -50° , -60° ve -70° talaş açılarında gerçekleştirilmiştir. Negatif talaş açılı takımlarla, talaş kaldırma mekanizması ve ölü bölge (dead-metal zone) oluşumu incelenmiştir. Bu mekanizmayı içeren bir kayma hattı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model üç bölgeden oluşmaktadır ve negatif talaş açısı 0° ile -70° arasında tüm değerler için geçerlidir. Ölü bölgenin değişimi kayma hattı modeliyle ve deneylerle çözümlemeye çalışılmıştır.

Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmadaki benzer durum, kesme ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada da söz konusudur. Bu geometriye sahip takımlarda, kesen ağzın yuvarlatılma yarıçapına bağlı olarak, takımın kesen ağzı negatif talaş açılı bir takım gibi davranır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma için yeni bir kayma hattı modeli (slip line model) geliştirildi. Yapılan model sekiz bölgeden oluşmaktadır. Bölgelerden biri ölü bölgedir. Kayma hattı açılarının belirlenmesi için Dewhurst ve Collins'in 1973 yılında önerdiği matris çözümü temel alındı.

Yapılan deneylerde farklı kesme hızında ve kesme derinliklerinde kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler ölçüldü. Deneyler, kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin ölçüldüğü belirli kesme hızı ve derinliklerinde, farklı kesici ağız yarıçaplarında ve talaş açılarında gerçekleştirildi. Kuvvet ölçümleri gerinim ölçer ve gerinim ölçer indikatörü kullanılarak yapıldı. Deneyler farklı iki talaş açısı için uygulandı (0° ve 6°). Kullanılan iş parçası malzemesi negatif talaş açılı takımla talaş kaldırma deneylerinde de kullanılan CuZn30 (70-30 Pirinç) malzemedir. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaşlı şekillendirmenin kesme mekanizması ve ölü bölge oluşumu incelendi. Tüm kayma hattı açılarının çözümü yapıldı. Malzeme akışını belirleyen ölü bölgeye bağlı olan ayrılma noktasının yeri deneysel ve kayma hattı modeli kullanılarak belirlendi.

2. KONUYLA İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Talaş kaldırma prosesi eski çağlardan beri tanınmasına rağmen, sadece bu yüzyılda, kırklı yılların ortasında, ciddi ve sistematik çabalar bu prosesi bilimsel hale getirdi. Talaş kaldırma analizleri dar bölgede görünmesine rağmen, araştırmacılar için oldukça geniş alana sahiptir. Talaş kaldırma prosesinin mekaniğinin araştırılması için büyük çabalar sarf edilmiştir (Manjunathaiah, 1998).

Finnie (1956), talaş kaldırma prosesiyle ilgili ilk bilimsel kaynağın Cocquilhat (1851) tarafından yapılan çalışma olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, dinamometre tekniğinden yoksun olunmasına rağmen, kuvvetin ölçümü için yenilikçi bir yöntem kullanılmıştır. İş parçası dönerken matkap yatay pozisyonda tutulmuş, iş parçası sabit hıza yükseldiğinde, ağırlık dengelenmesiyle kuvvet ölçümü yapılmıştır. Diğer araştırmacılar, kesme koşullarının, takım geometrisinin ve diğer proses değişkenlerinin talaş kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkilerini bulmak için talaş kaldırma testleri uygulamışlardır.

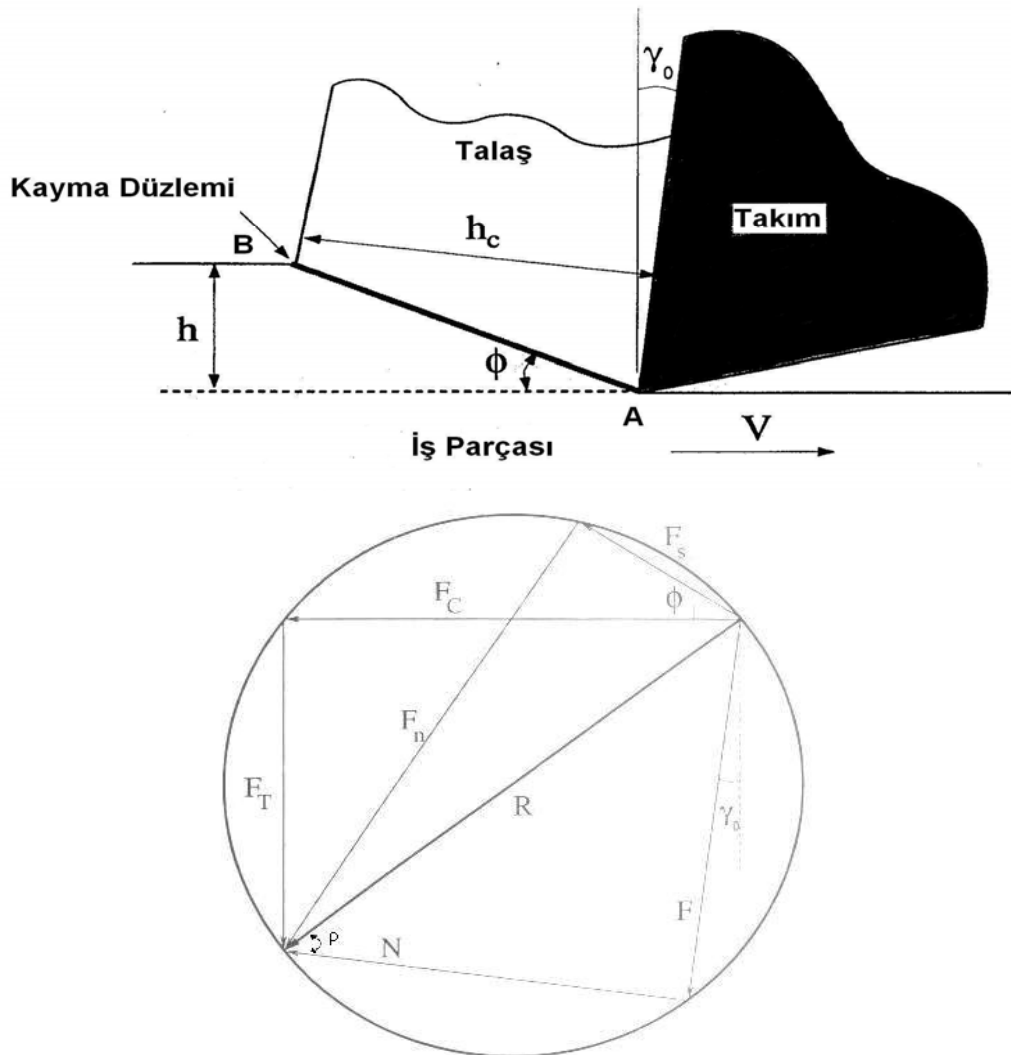
Talaş oluşum prosesiyle ilgili ilk çalışmalardan biri de, adı “akma kriteriyle” birlikte anılan Fransız bilim adamı Tresca’ya aittir ve teorisi sonraları çürütülmüştür. O, takımın önündeki malzeme sıkışmasını, talaş sıkışması olarak tanımlamış ve bunun talaşın iş parçasından kopmasını sağladığını savunmuştur. Bu yanlış anlama sonraları yapılan deneysel çalışmalarla aydınlatılmıştır (Komandri, 1971). Bu çalışmalara rağmen, kesici takım etkisinin yanlış anlaşılmasının nedeni, ufak baltayla ağaç kesilmesine benzetilmesindendir. 1900 de alman mühendis Reuleaux, takım önünde iş parçasında çatlak oluştuğunu rapor etmiştir (Finnie 1956’da referans etmiştir). Her ne kadar çoğu araştırmacı bu çatlağın oluşmadığını belirtse de, bu teoremin ortadan kalkması uzun süre almıştır.

En açık ve görülebilen talaş olduğundan, farklı tiplerdeki talaşlar temel alınarak talaş oluşum mekaniği üzerinde çalışılmıştır. 1925 yılında, Rosenhain ve Sturney (1925) farklı talaş oluşum tiplerini sınıflandırmışlardır. Kesme koşulları değiştirilerek aynı malzemeden üç tipte talaş oluşumu gözlenebileceğini belirtmişlerdir. Daha sonra Ernst (1938) kesici takım etkisi konusunda çalışmak için mikroskop ve kamera kullanmıştır. Elde edilen resimler onun talaş oluşumunu bilenen Tip 1 Süreksiz, Tip 2 Sürekli, Tip 3 Yapışık talaş olarak üç kategoriye sınıflandırmasını uygun kılmıştır. Bu çalışmadan sonra yüklü miktarda literatür birikmesi olmuş, talaş oluşum prosesinin tanımlanması ve analizi için talaş form koşulları test

edilmiştir. Bu çalışmalar her talaş oluşumu için proses modeline sebep olmuştur. En popüler olanı ise sürekli talaş oluşumunu anlatan Merchant'ın (1944) çalışmasıdır. Finli araştırmacı Piispanen 1937 yılında benzer model içeren bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışma İngilizceye tercüme olunmadan tam olarak anlaşılamamıştır (Piispanen, 1948).

Merchant (1944) Şekil 2.1'de görülen ortogonal talaş kaldırma modelini oluşturdu. Bu model için yapılan temel varsayımlar:

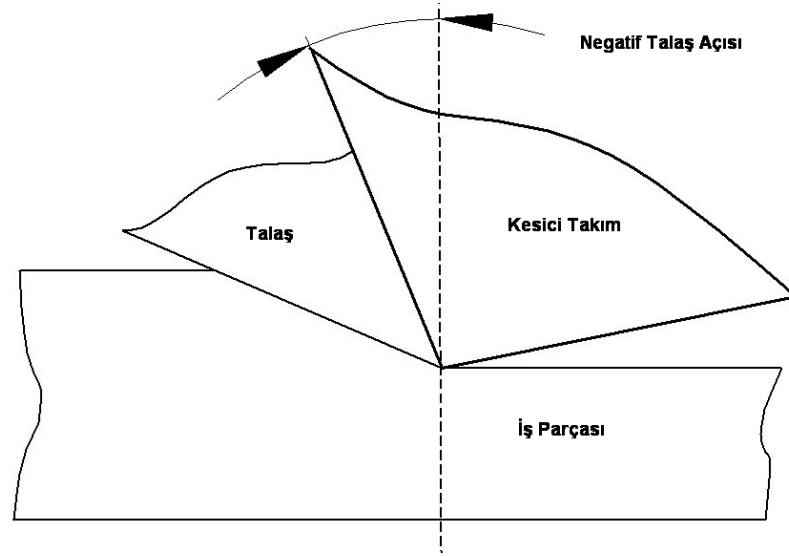
- Talaş oluşumu sürekli (Tip 2) ve yığma ağzı oluşturmeyen tipte.
- Kayma bölgesi yaklaşık bir düzlemdir.
- Akış koşulları için w talaş genişliği kesme derinliğinden (h) çok büyüktür, $w/h \gg 1$.
- Takım keskin uca ve eğim açısına sahiptir.
- Kayma düzlemindeki kayma ve normal gerilim uniform varsayılmıştır.
- Talaş yüzeyindeki sürtünme koşulları için Amonton kanunları uygulanmıştır.



Şekil 2.1 Ortogonal talaş kaldırma modeli ve kuvvet diyagramı (Merchant, 1944)

İş parçası kesme hızıyla hareket ederken kesici takımın hareketsiz olduğu kabul edilmiştir. Kesme derinliği h ve çıkan talaş kalınlığı ise h_c 'dir. Malzemenin ince bir düzlemde plastik deformasyonlara uğradığı varsayılır (AB düzlemi) ve bu düzlem kayma düzlemi olarak adlandırılır ve kesme hızıyla eğimi ϕ açısıdır. Takım talaş ara yüzeyi ve kayma düzlemine etki eden kuvvetler sonucunda talaşın dengelendiği varsayılır. Bu Merchant tarafından geliştirilen kuvvet çemberinde görülmektedir. Merchant talaş kaldırma prosesine etki eden kuvvetler, hızlar, gerilmeler, gerinimler, deformasyon hızları ve enerjileri arasındaki ilişkileri geliştirmeye çalışmıştır.

Talaş açısı, talaş yüzeyi ile işlenen yüzeye dik arasındaki açıdır ve talaşın parçadan uzaklaşmasını sağlar. Talaş açısı pozitif veya negatif olabilir. Negatif talaş açısı, takımın uç dayanımını güçlendirir ve daha uzun takım ömrü sağlar. Özellikle süreksiz talaş kaldırma işlemlerde çok avantajlıdır. Şekil 2.2'de negatif talaş açılı bir takım görülmektedir. Talaşlı işleme kabiliyeti kötü olan, sert malzemelerin talaş kaldırılmasında negatif talaş açılı takımlar tercih edilir.



Şekil 2.2 Negatif talaş açılı bir kesici takım

Bu kadar önem arz eden ve yaygın olarak kullanılan negatif talaş açılı takımlar ile talaş kaldırmada oluşan mekanizmayı açıklamak için, çok sayıda araştırmacı [Abebe (1981); Kıta (1975); Abdelmoneim (1983); Kopalinsky (1984); Komanduri (1971)] çalışmıştır. Çalışmalarda, yüksek negatif talaş açısı ile talaş kaldırmada oluşan malzeme akışı, kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin değişimleri ve ölü bölge incelenmiştir. Birçok araştırmacı ölü bir bölgenin oluştuğunu kabul etmiştir. Takımın talaş yüzeyinde ölü bölgenin oluşması

takımın geometrisini etkilemektedir. Dolayısıyla iş parçasında malzeme akışının, ölü bölgenin geometrisiyle yakından ilişkisi vardır. Literatürdeki modellerde bu ölü bölge durgun kabul edilmektedir. Halbuki deneysel çalışmalarda [Kıta (1975,1978)] ölü bölge olarak belirtilen kısmın talaş kaldırma esnasında şekil değiştirdiği görülmektedir. Bunun malzeme akışını değiştirdiği ve akışın takım geometrisi ile kesme parametreleriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Oluşan ölü bölge için geliştirilen kayma hattı çözümleri [Abebe (1981), Petryk (1987)] deneysel bulgularla (Kıta, 1978) tam olarak örtüşmemiştir. Önceki çalışmalarda, ölü bölgenin etkisiyle metalin akışı deneysel olarak incelenmemiş sadece nasıl olabileceğine dair işaret belirtilmiştir. Ölü bölgenin, geniş negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma işleminde olduğu kabul edilir. Bu oluşum, daha geniş ve stabil olmayan yığma ağız ile karıştırılmamalıdır. İlk önceleri, doğal keskin ağızlı takımın ucundaki bölgenin kalıcı ve sabit yığma ağız olabileceği önerilmiştir. Ancak bunlarla ilişkili sinemikrografikler ve diyagramlar buna kanıt olarak gösterilememiştir. Yığma ağız, kesici ağız ucu etrafında oluşan ölü bölge için beklenenden daha geniştir, buna ek olarak yığma ağız stabil değil büyümekte ve periyodik olarak kırılmaktadır (Palmer ve Yeo, 1963). Küçük durağan bölgeye (ölü bölge) deneysel kanıt, Abdelmoneim ve Scrutton (1974b), Kıta (1982) ve Sarwar ve Thompson (1981) çalışmaları olmuştur. Kıta (1982) negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmada metal akışı konusunda çalışmıştır.

Diğer önemli çalışmalar ise, kritik talaş açısı için yapılmıştır. Negatif talaş açısı bulunan takım geometrileri ile talaş kaldırmada, talaş açısının negatifliğinin belli bir değere ulaşması [$\gamma = -76^\circ$ (Fang, N., 2003b), $\gamma = -85^\circ$ (Albrecht, P., 1960)] sonucunda talaş oluşmamaktadır.

Takımın önündeki ölü bölgenin oluşumu ve plastik akışı belirlemesi, kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada da söz konusudur. Bu geometriye sahip takımlarda, kesen ağzın yuvarlatılma yarıçapına bağlı olarak takımın kesen ağzının bir kısmı negatif talaş açılı bir geometri gibi etkide bulunur (Manjunathaiah, 1998). Bu tür geometrili takımlarla talaş kaldırmada, negatif talaş açılı kesme mekaniği tam olarak çözülmemiş ve metalin akışı da netlik kazanmamıştır [Manjunathaiah (2000); Basuray (1977); Palmer (1963); Waldorf (1998)].

Sarwar ve Thompson (1981) kesici ağız yarıçapı büyük olan takımların etkileri üzerine çalışmışlardır. Küçük hızlardaki testler ve ani-duruş cihazı ile yapılan deneyler, kesici ağızda küçük ölü bölgenin oluştuğunu göstermiştir. Çinkonun ani-duruş mekanizması kullanılarak talaş kaldırılmasında, çok küçük kesme derinliği kesici ağız yarıçapı oranlarında ($h/r < 1$) ölü

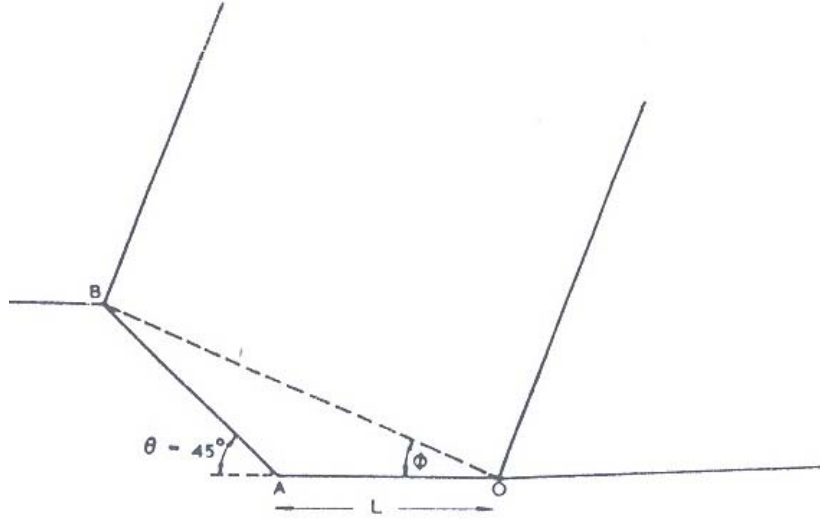
bölge gözlenmiştir (Abdelmoneim ve Scrutton, 1974b). Abdelmoneim (1980) kesici kenarı yuvarlatılmış takım ile pirinç malzemenin kuru talaş kaldırılmasında, küçük ölü bölge oluştuğunu kanıtlayan araştırmacı Piguet'den alıntı yapmıştır. Bu çalışmalara rağmen, ölü bölge tam olarak anlaşılamamıştır. Bu metal ölü bölgenin ne zaman geliştiği veya bölge içindeki gerinim koşulları açık değildir. Palmer ve Yeo (1963) gibi analitik çalışanlar, takım ucuna göre ölü bölgenin göreceli olduğu fikrini desteklemişlerdir. Ölü bölge birçok metal şekillendirme proseslerinde kullanılan bir modeldir. Ölü bölgenin şeklini ve boyutunu tahmin eden bir model yoktur. Abdelmoneim ve Scrutton (1974b) ölü bölgenin modellenebileceğini varsaymışlardır. Ayrıca kesici ağız yarıçapının takım ucundaki deformasyona etkisi olduğu görülmüştür (K. Bitans ve R. H. Brown, 1964).

Belirtilen bilgilerin ışığında, kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada oluşan ölü bölge ve mekanizmanın anlaşılması için, ilk önce negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma daha iyi anlaşılmalıdır. Bu yüzden konuyla ilgili yapılan önceki çalışmaları iki kısımda inceleyebiliriz. Bunlardan birincisi, negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma konusunda gerçekleştirilen daha önceki çalışmalar, ikincisi ise kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma konusunda yapılmış çalışmalardır.

2.1 Negatif Talaş Açılı Takımlarla Talaş Kaldırma Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar

Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, yirminci yüzyılın ikinci yarısında hız kazanmıştır. Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma hakkında yapılan çalışmalar, özellikle malzeme akışı, kuvvet değişimleri ve ölü bölge hakkında olmuştur.

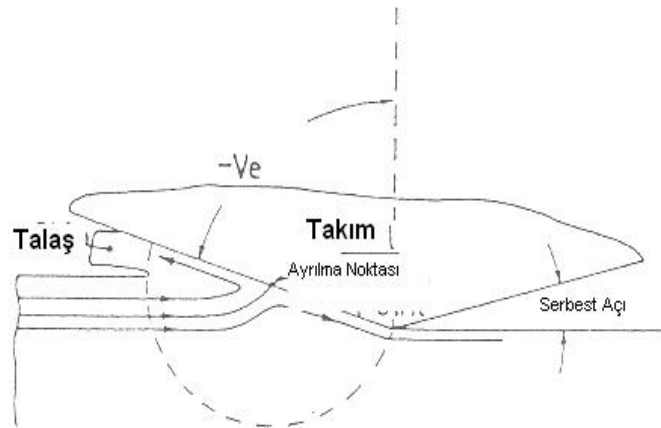
Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma ile ilgili modellerin temel alındığı ilk çalışma, Connolly R. ve Rubenstein C. (1968) tarafından yapılmış ve bu modelin sürekli talaş oluşumu için geçerli olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.3 Talaş kaldırma modeli (Connolly R.ve Rubenstein C., 1968)

Şekil 2.3’de Connolly R. ve C. Rubenstein’in (1968) talaş kaldırma modeli görülmektedir. Bu modelde L azaldıkça ϕ 45° ’ye yaklaşır. Yayınlanan birçok çalışmada ϕ yaklaşımı kullanılmakta fakat metallerin talaş kaldırılmasında bu değer 45° ’yi hiçbir zaman geçmemektedir.

Malzeme akışı ile ilgili çalışmalar 1971 yılına kadar dayanır. Komanduri R. (1971), Şekil 2.4’den görüleceği gibi takım yüzeyinde talaş akışının iki yönde olacağını savunmuştur. Bir kısmının takım altına doğru akacağını (sürtünme ve dalma etkisiyle), bir kısmının ise talaş oluşumu için ayrılma noktasından itibaren negatif talaş açısına bağlı olarak yukarı akacağını belirtmiştir.



Şekil 2.4 Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmada malzeme akışı (Komanduri R., 1971)

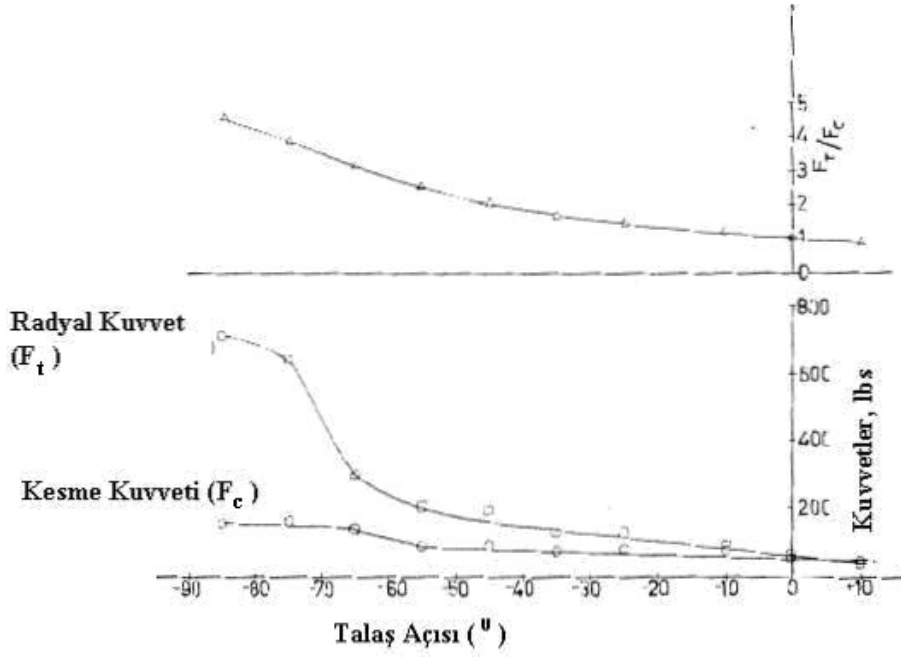
Kıta Y., Ido M. ve Kawasaki N. (1982) malzeme deformasyonu için sonlu eleman metodu ile çalışma yapmışlardır. Farklı negatif talaş açıları için plastik deformasyon bölgesindeki malzeme akış çizgilerini incelemişlerdir. Talaş oluşum mekanizmasını analiz etmek için, kurşun iş parçası kullanmışlar ve geniş negatif talaş açılı takım ile takım yüzeyindeki metal akışını gözlemlemişlerdir. Talaş yüzeyi önündeki malzeme akış çizgileri ve maksimum kayma düzlemindeki gerilim dağılımını farklı negatif talaş açıları için vermişlerdir. Bu analizlere dayanarak ölü bölge davranışının anlaşılmasına çalışılmışlardır. Talaş yüzeyi önündeki malzemenin deformasyonu araştırmak için kayma hattı modeli kullanmışlardır. Malzeme akışının ölü bölgenin ayrılma noktasında yukarı ve aşağı doğru aktığını varsaymışlardır.

Kopalinsky E. M. ve Oxley P. L. B. (1995) ise, negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma esnasında oluşan deformasyonları incelemişlerdir. Kullandıkları iş parçası malzemesi alüminyum magnezyum alaşımıdır. Kopalinsky ve Oxley malzeme akışını dalgaya benzetmişlerdir. Onlara göre deformasyona uğramış malzeme, kesici takım ile kayma yüzeyi arasında dalga şeklinde akar.

Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetlerle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda radyal kuvvetlerin ve kesme kuvvetlerinin değişimleri incelenmiştir. Farklı iş parçası malzemelerinin talaş kaldırılmasında oluşan kuvvetler karşılaştırılmıştır. Bu araştırmalar aşağıda verilmektedir.

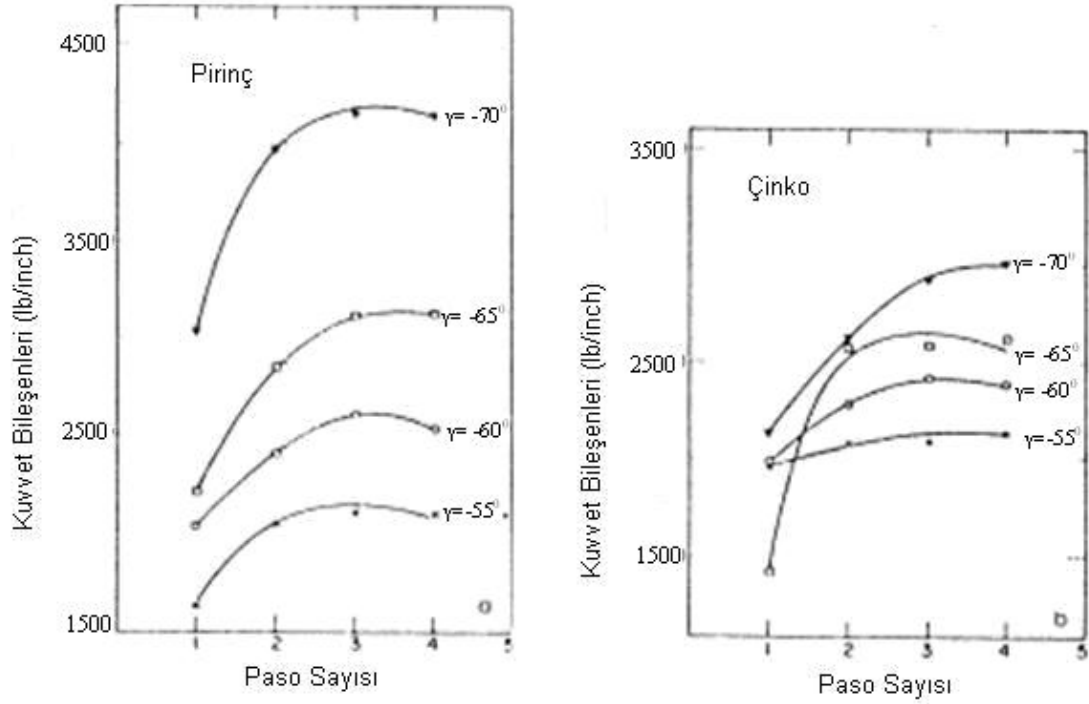
1968 yılında Tamura K. ve Nakayama K. araştırmalarında talaş kaldırmadaki enerji harcanmasını incelemişlerdir. Çalışmalarında negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma için spesifik kesme kuvvetlerini belirlemişlerdir. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetlerin negatif talaş açısıyla değişimini sunmuşlardır.

Komanduri R. (1971) negatif talaş açılı takım ile deneyler yapmıştır. Deneylerinde imalat çeliği kullanmıştır. Kuvvet ölçümünü iki eksenli gerinim ölçerli dinamometre ile yapmıştır. Talaş açısını 10° , -10° , -25° , -35° , -45° , -55° , -65° , -75° ve -85° olarak seçmiştir. Talaş açısı -75° 'ye kadar talaşın oluştuğu gözlenmiştir. -85° 'de talaş oluşumu görülmemektedir. Şekil 2.5'de negatif talaş açısına göre kuvvet ve kuvvetler oranı değişimleri verilmiştir. F_c ve F_t değerleri negatif talaş açısına göre artmaktadır. Talaş açısı -50° 'den sonra kuvvet değerinde hızlı bir artış vardır.



Şekil 2.5 Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmada kuvvet değişimi (Komanduri R, 1971)

Abdelmoneim M. Es. ve Scrutton R.F. (1973) negatif talaş açılı takımlarla çinko ve pirinç iş parçalarının talaş kaldırılmasında kuvvet değişimlerini incelemişlerdir. Yığılma ağzının oluşması negatif talaş açılı takımın geometrisini etkiler. Bu çalışmada belirtilen deneyler, bu oluşum ile ortaya çıkabilecek karmaşıklıktan kaçınmak için, ince taneli çinko ve pirinç gibi demir dışı malzemelerle yapılmıştır. Pirinç iş parçası malzemeden alınan numunelerde, yığılma ağzının oluşumuna rastlanmadığını belirtmişlerdir. Abdelmoneim ve Scrutton, deneylerinde talaş açısını -55° , -60° , -65° , -70° , -75° ve -80° olarak seçtiler ve serbest açısı 9° olan ortogonal takım kullandılar. Aynı kesme derinliğinde art arda talaş kaldırma işlemi gerçekleştirildi ve Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ardı ardına uygulanan pasolarda kesme kuvvetinde artış gözlenmiştir. Benzer sonuçlar birçok iş parçası malzemesi için de elde edilmiştir. Birkaç pasodan sonra kesme kuvvetlerinde artış azalmıştır. Daha büyük negatif talaş açılı takım kullanıldığında ise kesme kuvveti artmaktadır. Abdelmoneim ve Scrutton talaş açısı -80° olduğunda talaşın oluşmadığını savunmuşlardır.



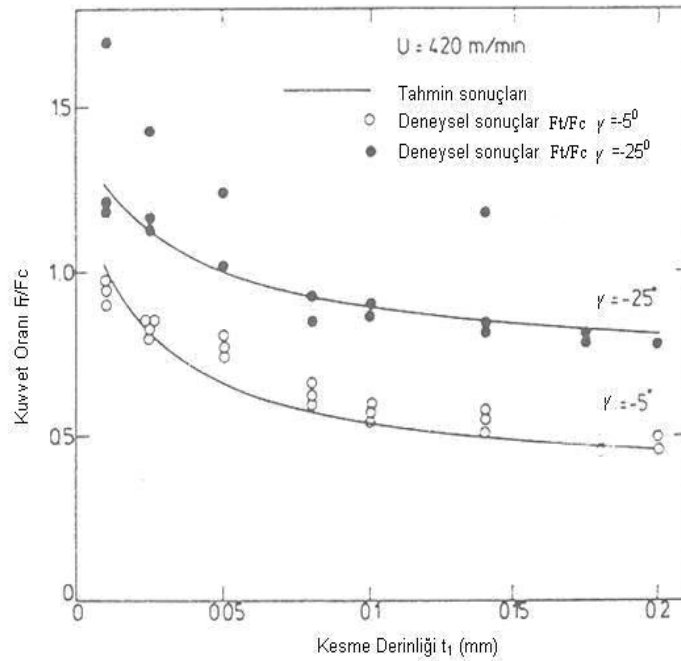
Şekil 2.6 Pirinç ve çinko için farklı negatif talaş açılarına göre kuvvet bileşenleri, nom. kesme derinliği = 0,1 mm (Abdelmoneim M. Es. ve Scrutton R.F., 1973)

Abdelmoneim M. Es. ve Scrutton R.F. (1974a) negatif talaş açılı takım kullanarak pirinç ve çinko için yüksek negatif talaş açılarında kesme kuvvetlerini ve radyal kuvvetleri bulmuşlardır. Çalışmalarında -55° , -60° , -65° ve -70° negatif talaş açısında kuvvet ve kuvvete bağlı faktörleri belirtmişlerdir.

Abdelmoneim M. ES. ve Nasser A. A. (1983) negatif talaş açılı ortogonal takımlarla düşük hızlarda pirinç üzerinde testler yaparak takım talaş açısı, kesme hızı ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve radyal kuvvet üzerine etkilerini araştırmışlardır. Abdelmoneim M. ES. ve Nasser A. A., talaş açısı 0° , -10° , -20° , -30° , -40° , -50° , -55° , -60° , -65° , -70° ve -75° ile deneyler gerçekleştirmişlerdir. Talaş açısı negatifleştikçe talaş kalınlığının azaldığını görmüşlerdir. Talaş açısı -75° 'den sonra talaşın kalkmadığı, negatif talaş açılı takım ile paso tekrarı yapıldığında, kuvvetlerin değiştiğini belirtmişlerdir. Bu değişimler iş parçası yüzeyinin deformasyon sertliğine bağlıdır. Abdelmoneim ve Nasser'e göre talaş açısı negatifleştikçe kesme oranı lineer olarak azalır. Uygulanan kesme hızı aralığında, kesme hızı arttıkça kesme kuvveti bileşenleri ve talaş kalınlığı azalmaktadır.

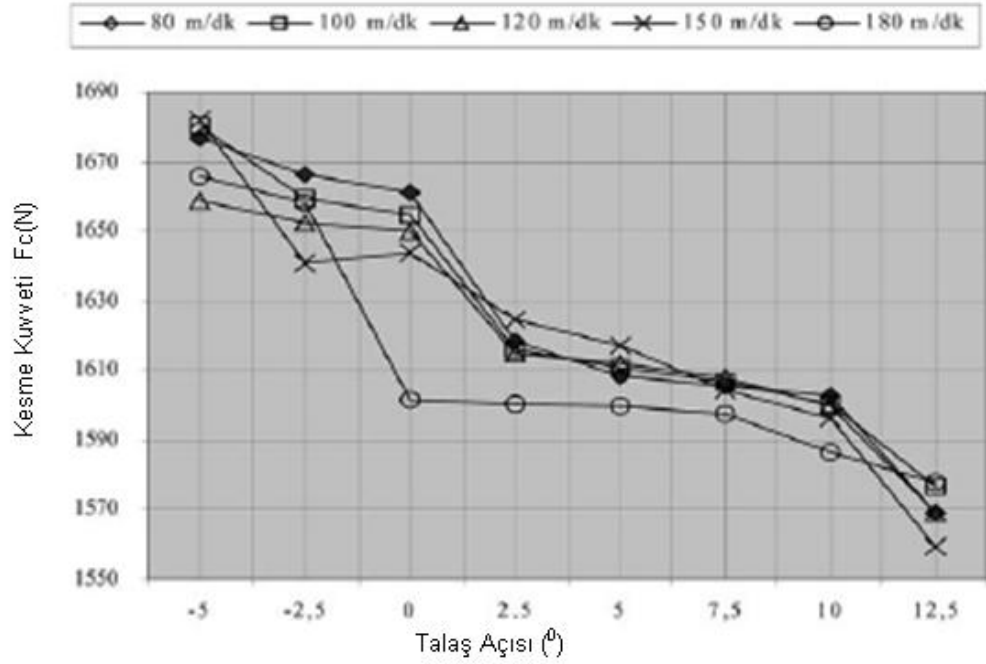
Kopalinsky E. M. ve Oxley P. L. B. (1984) negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmada talaş açısının, radyal kuvvetin kesme kuvvetine oranına etkisini araştırmışlardır. F_t/F_c oranı talaş

açısının artmasıyla artmaktadır. Talaş açısı yüksek (-20° 'den -60° 'ye kadar) ve kesme derinliği çok küçük ($t_1 < 5\mu\text{m}$) olduğunda, $F_t/F_c < 1$ 'dir. F_t/F_c oranındaki artışının nedeni sadece negatif talaş açısındaki artıştır. Kullandığı iş parçası malzemesi ise yalın karbonlu çeliktir. Kesme derinliğine göre F_t/F_c oranının değişimi Şekil 2.7'de verilmiştir. Şekil 2.7'de verilen sonuçlar, F_t/F_c oranının negatif talaş açısı negatifleştikçe ve kesme derinliğinin azalmasıyla artacağıdır. Ortaya çıkan diğer bir sonuç ise, F_t/F_c oranında artış gözlenmesi, sadece kesme derinliği azalmasıyla sürtünme açısının artması olarak tanımlanabilir. Bu yüzden kesme derinliği azalmasıyla F_t/F_c 'deki artışı anlatmak için sürtünme açısının artış nedenlerini belirlemek gerekir. Kopalinsky ve Oxley'e göre negatif talaş açısının -5° den -25° 'e azalmasıyla F_t/F_c oranında artış olur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kesme derinliğine göre kuvvet oranlarının değişimleri (Kopalinsky E. M. ve Oxley P. L. B., 1984)

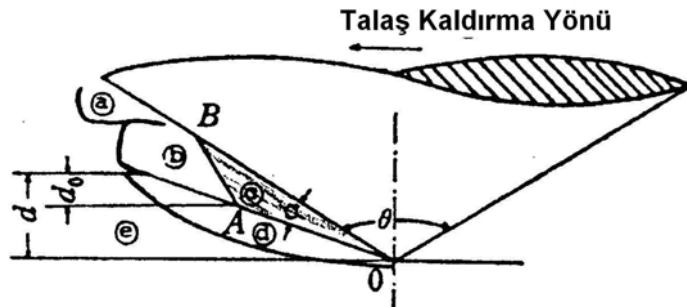
Günay M. v.d. (2004) negatif talaş açısının kesme kuvvetlerine etkilerini araştırmışlardır. Kullandıkları iş parçası AISI 1040'dır. Kuvvet ölçümü için yük ölçüm hücreleri (load cell) kullanmışlardır. Günay v.d.'ne göre talaş açısı negatiften pozitifte gittikçe kesme kuvveti azalmaktadır (Şekil 2.8). Kesme hızı kesme kuvvetine küçük etki yapmaktadır.



Şekil 2.8 Farklı kesme hızlarında kesme kuvvetinin talaş açısına göre değişimi (Günay M. v.d., 2004)

Bazı araştırmacılar ise negatif talaş açılı takım ile yaptığı deneylerle oluşan mekanizmayı ve ölü bölgeyi tanımlamışlardır. Bu çalışmalar 1975 yılında başlar.

Kıta Y., Hata S. ve Ido M. (1975) talaş kaldırmanın temel mekanizmasını açıklamak için abrasif tek bir taneye benzetilen konik bir takım ile talaş kaldırma işlemlerini gerçekleştirdiler. Deneylerinde ani-duruş mekanizması kullanmışlardır. Kesme işlemi sırasında takım yüzeyi önündeki malzemenin davranışı gözlemiş ve büyük negatif talaş açılı kesici takımla talaş kaldırma mekanizmasını açıklamışlardır. Yazarlara göre beş bölge mevcuttur (Şekil 2.9). Talaş olarak kaldırılan kısım (a), talaş yüzeyi altındaki ölü bölge (b), talaş olana kadar akan ve aşırı deforme olmuş bir kısım (c), aşağıya doğru uzanan deforme olmuş kısım (d), deformasyona uğramayan kısım (e) olarak sınıflandırmışlardır. Yazarlara göre talaş oluşumunda ölü uç bölge çok önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2.9 Mikrografikle kesit alanında gözlenen 5 bölge (Kıta Y., Hata S. ve Ido M.)

Kıta v.d. (1975) malzeme davranışının birçok mikrografığı gözleyerek talaş oluşum mekanizmasını sistematik olarak beş kademede göstermişlerdir. Takım önündeki malzeme kabarır ve oluşan talaş yukarı itilir. Yukarı doğru kabarma biraz büyüdüktan sonra, kabaran malzemenin kökünde ilk kırık oluşur. Kesici takım hareketiyle çatlak büyür ve talaş yüzeyi altında malzemede ciddi bir akış meydana gelir. Birinciden sonra malzemede ikinci ciddi akış meydana gelir ve ölü bölge oluşur. Ölü bölge önündeki malzeme itilir ve büyük baskı geriliminden dolayı ölü bölge kendi kendine giderek azalır. İtilen talaş, malzeme ilerlemesi nedeniyle deforme olur. Belirtildiği gibi, kesme işlemi sırasında ölü bölge değişmesine rağmen, ilk başta oluşan ölü bölge talaşın oluşup oluşmayacağını belirler.

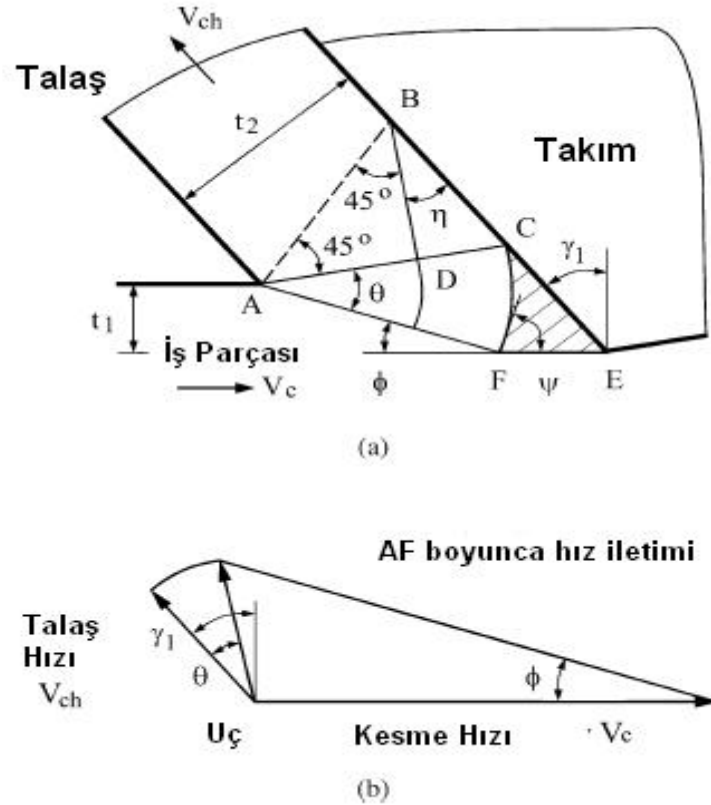
Kıta Y. ve Ido M. (1978) talaş kaldırma esnasında ölü bölgede değişim olduğunu savunmuşlardır. Kıta ve Ido'ya göre ölü bölge negatif talaş açılı kesici takımın kesici kenarı gibi rol oynar ve talaş oluşum prosesi için önemlidir. Büyük negatif talaş açılı takımla talaş kaldırmada talaş yüzeyi önünde ölü bölge oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Kıta, Y. ve Ido, M. (1981) takım yüzeyi önünde oluşan ölü bölgenin şekline kesme hızının etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında bir tek aşındırıcı taşlama tanesine benzeyen kesici takım kullanmışlardır. Deneysel sonuçlara göre kesme hızı yüksek olduğunda talaş yüzeyi önündeki malzeme yukarıya doğru akmaktadır. Yüksek kesme hızlarında talaş oluşum derinliğine göre durağan ucun pozisyonu derinleşir ve ölü bölge incelir. Bununla birlikte yüksek kesme hızlarında oluşan talaş daha fazla kırılır ve oluşan talaşların boyutları küçülür; yani talaş küçük olsa da onu oluşturmak için gereken zaman kısadır. Kıta ve Ido'ya göre yüksek kesme hızlarında malzemeden oluşan talaş akıcı talaş şeklindedir. Kesme hızı arttığında durağan ucun konumu kesici ağzın ucuna yakın bir yerdedir, ölü bölge incelir ve talaş küçülür. Ölü bölgedeki malzeme çok serttir ve talaş oluştuğunda ölü bölgenin önündeki malzeme aşırı deforme olur.

Abebe, M. (1981) negatif talaş açısı ile talaş kaldırmada bir kayma hattı modeli geliştirmiştir. Abebe'ye göre oluşan ölü bölge malzemenin akışını yönlendirmektedir. Kayma hattı modeliyle kesme için gerekli kuvvetler bulunabilir ve sürtünme koşullarından dolayı gerekli olan talaş kaldırma şartları tahmin edilebilir. Modelde talaş kalınlığının kesme derinliğine oranı birden büyüktür. Yine 1978 yılında Kıta yaptığı çalışmada akışın ikiye bölündüğünü belirtmiştir.

Petrky 1987 yılında negatif talaş açısı ve τ/k değerine göre akış yönünün ve ölü bölgenin değiştiğini savunmuştur. Petrky'e göre akış, belli negatif talaş açısı değerinde iki kısma ayrılır. Malzemenin bir kısmı yukarı doğru akarken bir kısmı ise aşağıya doğru akar. Negatif talaş açısı değişimiyle ölü bölgenin yeri değişim göstermektedir.

Fang N. (2004) çalışmasında geniş negatif talaş açılı takım için modelleme yapmıştır. Bu model Şekil 2.10'da görülmektedir. Akış ucundaki ölü bölge CFE bölgesidir. Diğer üç kısım ise kayma bölgesini tanımlar. Lee ve Shaffer'ın matematik modelinden yararlanarak formülasyon oluşturmuştur. Bu model ile F_c/F_t oranını tahmin edebilmektedir. Burada γ_1 talaş açısı, t_1 kesme derinliği, V_{ch} talaş hızı, ϕ kayma düzlem açısı, ψ ölü bölge açısı, θ kayma hattı açısıdır. N. Fang'e göre kesme hızı arttıkça ölü bölge alanı azalmaktadır.



Şekil 2.10 a) Geniş negatif talaş açılı takım için model b) hodograf (Fang N., 2004)

Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada kuvvet değişimi için yapılan çalışmalarda, kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin negatif talaş açısıyla değiştiği vurgulanmıştır. Negatif talaş açısı negatifleştikçe kesme kuvvetlerinin arttığı Komanduri, Abdelmoneim ve Scrutton, Günay v.d. ve N. Fang'ın çalışmalarında yer almıştır. Kesme hızının kesme

kuvvetine olan etkisi hakkında çalışma Günay v.d. tarafından yapılmıştır. Fakat bu çalışma talaş açısı -5° ile $12,5^{\circ}$ arasında ve sadece kesme kuvveti için yapılmıştır. Negatif talaş açısının kesme kuvvetlerine ve radyal kuvvetlere etkisini kesme hızı değişimiyle birlikte belirten çalışma mevcut değildir.

Komanduri 1971 yılında negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma işleminde takım yüzeyinde talaş akışının iki yönde olacağını belirtmiştir. Fakat ölü bölgenin oluşumuyla ilgili bir sonuca varmamıştır. Bunun yanında Kıta v.d. (1982) kurşun için negatif talaş açısı -30° için ölü bölgenin oluştuğunu ve malzeme akışının iki yönde olacağını savunmuşlardır. Kopalinsky ve Oxley 1995 yılında yaptıkları çalışmada malzeme akışının dalga şeklinde olduğunu vurgulamışlardır. Fakat ölü bölge olduğunu belirtmemişler ve malzemenin ikiye bölünmeden aktığını savunmuşlardır. Fang N. (2004) ise negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada ölü bölgenin oluştuğunu söylemiştir. Abebe ise 1981 yılında Kıta gibi negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma işleminde talaş akışının yukarı ve aşağı şekilde iki yöne oluşacağını vurgulamış ve ölü bölgenin oluştuğunu belirtmiştir. Ölü bölge için ilk defa kayma hattı modellemesini Abebe yapmıştır. Fakat çalışması teorik kalmış, çözüm için formülleri matematik yaklaşımlarla sunmuş, çözüm veren bir yazılım kullanmamıştır. Bu yüzden teoriden öteye geçememiştir. Negatif talaş açılı talaş kaldırma için Fang, N. (2005) ölü bölgeye sahip model oluşturmuştur. Malzeme akışı hakkında bilgi vermemektedir. Literatürde deneysel çalışmalar ile kayma hattı modellemeyi birleştiren ve ölü bölgenin değişimini deneysel yansıtan, aynı zamanda negatif talaş açısına göre radyal kuvvetlerin ve kesme kuvvetlerinin değişimlerini veren çalışma mevcut değildir. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilmiş ölü bölgeyi gösteren net bir görüntü ve resim yoktur. Tüm bu eksiklikler burada giderilmeye çalışılmıştır.

2.2 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımla Talaş Kaldırma Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar

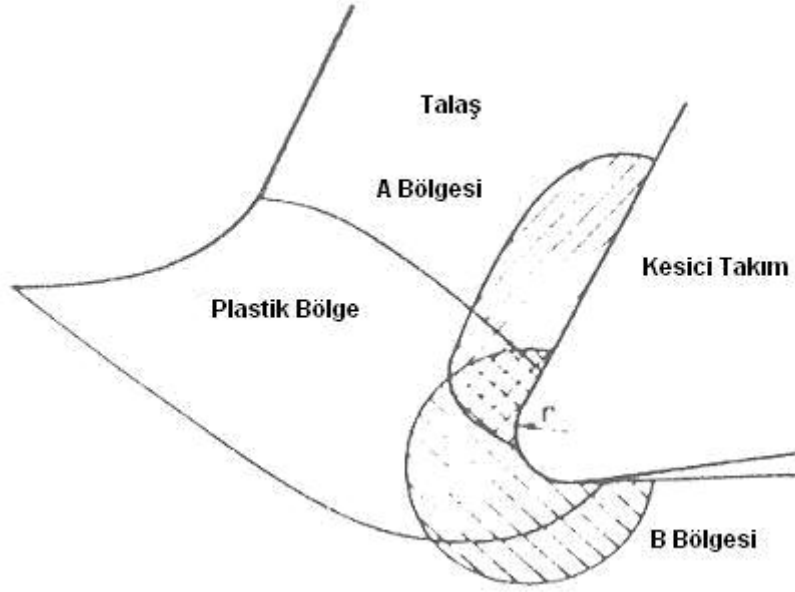
Teorik olarak işlenen parçaların modellemesini basitleştirmek için daha önceleri yapılan talaş kaldırma çalışmalarında, Merchant'ın modeli (1944), Lee ve Shaffer'ın modeli (1951) ve Oxley'in modeli (1989) kullanılmıştır. Tüm bu modellerde bir takımın kesici ağzının kesinlikle keskin olması gerekirdi. Yine de gerçek bir takım ne kadar küçük de olsa, kesici ağzı sınırlı bir keskinliğe sahip olabilir. Birçok deneysel çalışma sonuçları, belli kesme koşulları altında kesici ağız yuvarlaklığının talaş kaldırmaya çok önemli ve fark edilebilir

etkileri olduğunu kanıtlamıştır. Pratikte ise; takım yıpranmasının azalması ve takım ömrünün artması için ideal kesici ağız geometrisine sahip bir takım elde etme talebi vardır.

Takımın kesici ağız yuvarlaklığının etkilerini araştırmak için ortak benimsenen metotlar üç kategoride sınıflandırılabilir: (1) deneysel metotlar; (2) kayma hattı modelini içeren analitik metotlar; (3) sonlu elemanlar tekniği gibi çeşitli nümerik metotlar. Tüm bu metotların arasında rijit-plastik teorisi üzerine kurulu olan kayma hatlarının kesme işleyişinin modellenmesi için fark edilebilir derecede verimli olduğu kanıtlanmıştır (Oxley, 1999).

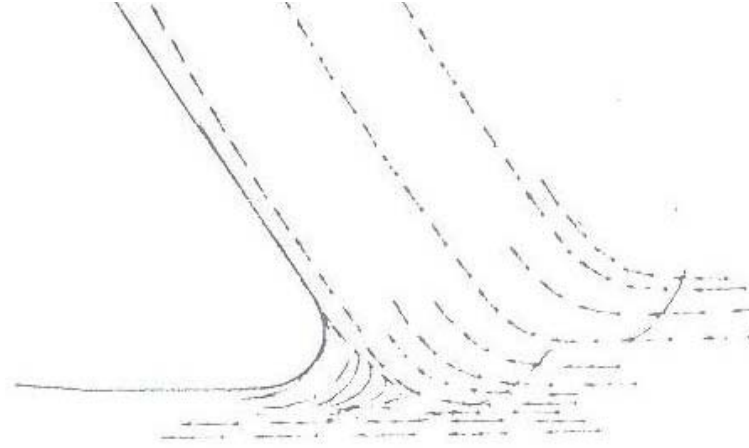
Teorik olarak, kesici ağız yuvarlatılmasını ve etkileri anlamak, iş parçası malzemesi deformasyon mekanizmasını ve kesme derinliği azalırken spesifik kesme kuvvetinin artmasındaki büyüklük etkisini anlamamızı sağlayacaktır (Tamura ve Nakayama, 1968).

Kesici ağız yarıçapı ile malzeme akışı arasında ilişkiyi inceleyen araştırmacılar olmuştur. Palmer W. B. ve Yeo R.C.K. (1963) ortogonal talaş kaldırma işleminde kesici ağız uç noktası civarında malzeme akışını incelemişlerdir. Albrecht doğal kesici ağız yarıçapının (r) yaklaşık 0,0076 mm olduğunu savunmuştur. Palmer ve Yeo bunun kesici ağzın geri kalan kısmıyla karşılaştırıldığında fark edilebilir bir ölçü olduğunu saptamışlardır. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada ölü bölge olasılığı ilk Lee ve Shaffer tarafından dile getirilse de, gerçek kanıt Palmer ve Yeo tarafından sağlanmıştır. Talaşın altındaki bölgenin ve iş parçasının işlenen yüzeyinin ağır gerinmeye maruz kaldığı genel olarak bilinmektedir. Fakat bu gerinmenin nerede olduğu farklılık arz etmektedir. Bazıları bunu takım talaş yüzeyinde uzanan deformasyon bölgesine (A bölgesi Şekil 2.11) bağlamış ve bu bölgenin takım talaş yüzeyine etki eden ağır sürtünme gerinmeleriyle oluştuğunu düşünmüşlerdir. Diğerleri ise deformasyonun önemli kısmının takım uç çevresindeki (B bölgesi Şekil 2.11) çekme gerilmesinden dolayı oluştuğunu vurgulamışlardır.



Şekil 2.11 Talaş kaldırmada deformasyon bölgeleri (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)

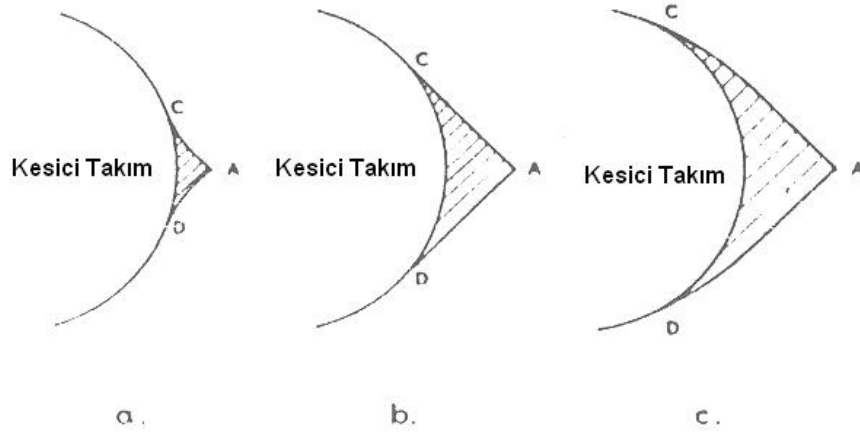
Palmer ve Yeo deneylerinde 0,18% C içeren çelik ve maksimum 0,127 mm'ye kadar farklı kesici ağız yarıçaplı takımlar kullanmışlardır. Doğal keskin uçlu takım hariç, diğer takımlarda ölü bölge gözlemlemişlerdir. Ölü bölgenin oluşumu kesici ağız yarıçapının büyüklüğüne ve bölgesel durgunluğa dayanmaktadır. Pozitif talaş açılı takım ile yapılan deneyler sonucunda oluşan akış ölü bölgenin formunu göstermektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmada ölü bölge formu. $r = 0,05 \text{ mm}$, $t_1 = 0,17 \text{ mm}$, $\gamma = 35^\circ$ (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)

Pozitif talaş açılı takım ile talaş kaldırma işleminde ölü bölge Şekil 2.13'deki formlardan birini alır. AC ve AD plastik bölge kayma hatları olup A'da birleşmektedir. Süreksiz hızdan kaçınıldığında, AC ve AD takım ucu yarıçapına teğettirler. Koşullara göre tüm formlar Şekil

2.13’de verilmiş olup formların AC ve AD eğrilerine göre içbükey, düz, dışbükey şeklinde olduğu görülmüştür. Kabul edilen ölü bölge için gerilim koşullarının akma gerilmesini aşmadığına emin olmak kolay değildir, fakat gerilimin bu limitlerde kaldığı kabul edilir. Ölü bölge için en iyi formun hangisi olduğunu belirlemek zordur fakat Palmer ve Yeo’ya göre plastik şekil verilmiş malzeme için c formu en uygundur. Palmer ve Yeo talaş kaldırılan bölge kesitinin mikroskop görüntü fotoğrafında, takım üzerinde küçük ölü bölge saptamışlardır. Bu bölge yığılma ağzından çok daha küçüktür ve sinemikrografikte görülmüştür.



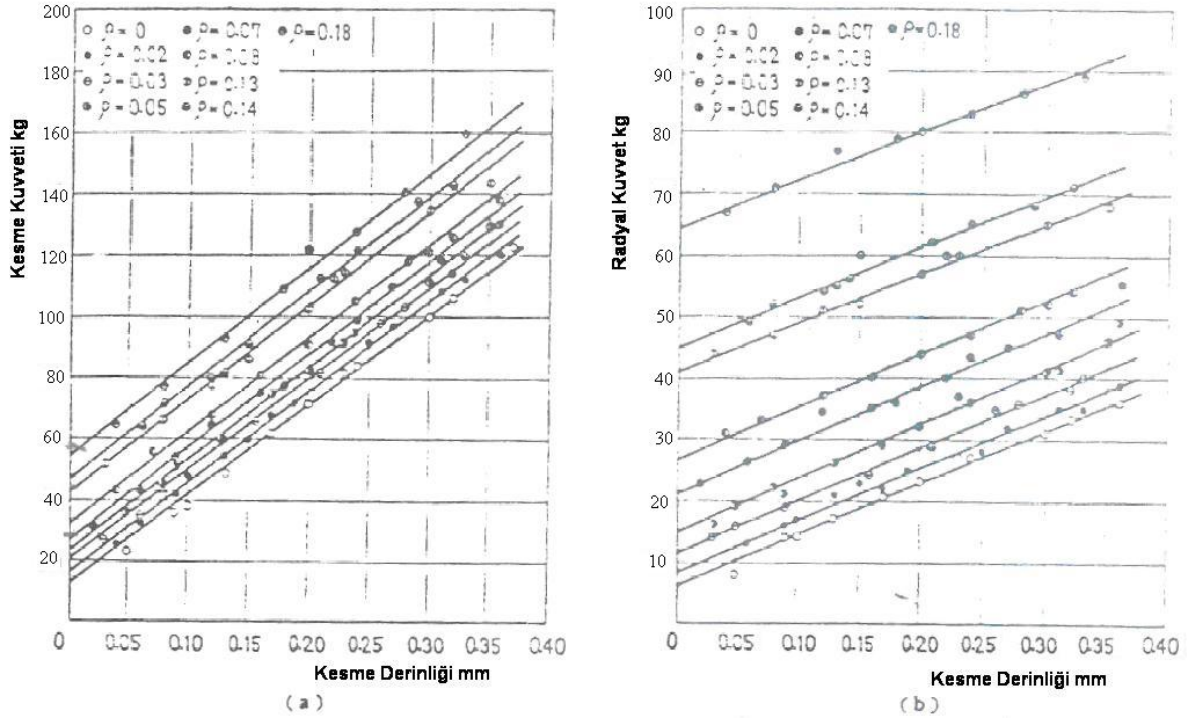
Şekil 2.13 Ölü bölge formları (Palmer W. B. ve Yeo R.C.K., 1963)

Warnecke G. (1977) çinko için ölü bölgenin oluşmadığını ve C45 çeliğinde ölü bölgenin oluştuğunu savunmuştur. Kountanya K. R. ve Endres W. J. (2001) ise ölü bölgenin oluşup oluşmadığından emin olmak için farklı koşullarda birçok kesme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kountanya ve Endres pirinç için ölü bölgenin oluştuğunu belirtmişler ve çinko için ölü bölgenin var olduğunu fakat bunun pirincin talaşlı şekillendirilmesinde oluşan ölü bölgeden daha küçük olduğunu bildirmişlerdir. Kountanya ve Endres oluşan ölü bölgenin dikkate değer stabil olduğunu, kesme başladıktan bir saniye içinde oluştuğunu savunmuşlardır. Ölü bölgenin varlığı Manjunathiah ve Endres’in (2000) modelinden büyük farklılık gösterir.

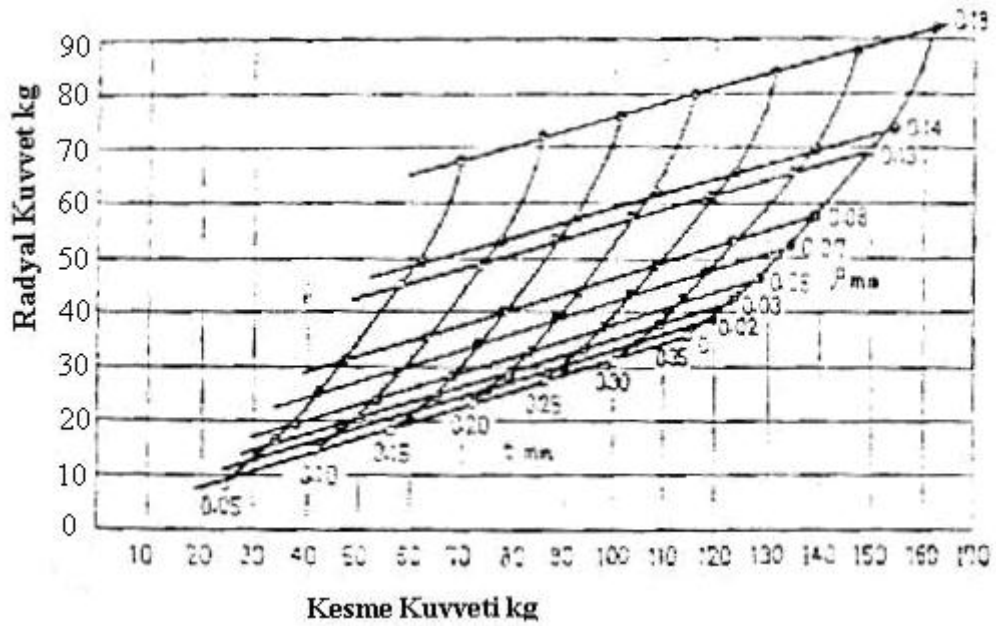
Çoğu araştırmacı ise, kesici ağız yarıçapının kuvvetlere olan etkilerini araştırmışlardır. Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma için kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler hakkında araştırma yapıldığı gibi, dalma kuvveti ve boyut etkisi hakkında da birçok çalışma yapılmıştır.

Okushima K. ve Kakino Y. (1969) her kesici takımın kesici ağzının belli bir yarıçapa sahip olduğunu savunmuşlardır. Çünkü kesici kenar tam olarak keskin bir şekilde üretilmez. Keskin bir uç üretilse bile, kesme işlemi başladığında çabucak körelebilir ve kesici ağzın

yarıçapı kesme devam ederken artabilir. Kesici takımında oluşan bileşke kuvveti, talaş yüzeyinde oluşan kesme kuvveti ile kesici ağız yarıçapı etkisiyle oluşan kuvvetin bileşkesidir. Kesici ağız yarıçapı etkisiyle oluşan kuvvet, kesici ağızda ve takım serbest yüzeyinin aşınan bölgesinde etkir. Abrecht ise aynı kuvveti dalma kuvveti şeklinde adlandırmış ve ölçümü için kesme kuvveti verilerini temel alan grafik yöntem metodunu yayınlamıştır. Her ne kadar Albrecht dalma kuvvetini kesici kenar yayı üzerinde etkiyen kuvvetle sınırlamışsa da, takım serbest yüzeyinin aşınma bölgesinde ve takım talaş yüzeyinde de bu kuvvetin etkisi vardır. Alberth'in metoduna göre, kesici ağız yarıçapı etkisiyle oluşan kuvvet bu kuvvetlerin bileşkesi olarak elde edilmiştir. Bu yüzden Okushima ve Kakino çalışmalarında dalma kuvvetini, yeni bir yüzey oluşturmak için gerekli etkiyi sağlayan kesici ağız yarıçapı çevresinde etkiyen kuvvet olarak tanımlamışlardır. Dalma kuvveti; yuvarlatılmış kesici ağız çevresinde bulunan, yeni yüzey oluşumu için gerekli etkiyi sağlayan kuvvet olarak tanımlanır. Pirincin 30 m/dak kesme hızında ortogonal talaş kaldırılmasında, kesme kuvvetinin iki bileşeni değişken kesme derinliğinde ve farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlarla ölçülmüştür. Kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır (Şekil 2.14 a ve b). Takım kesici ağız yarıçapının artmasıyla, radyal kuvvet kesme kuvvetine göre daha fazla artar. Bu verilerden sabit kesme derinliği ve kesici ağız yarıçapı için, ordinatın radyal kuvvet, apsisin kesme kuvveti olduğu diyagram Şekil 2.15'de görülmektedir. Bu diyagramda, sabit kesme derinliği noktalarını birleştiren çizgi doğru değil eğridir bu yüzden sonuç Albrecht'in sonucundan farklıdır. Bu şu anlama gelir, dalma kuvvetinin yönü sabit değildir ve sonuç olarak Albrecht metoduyla dalma kuvvetlerini hesaplamak imkansızdır.



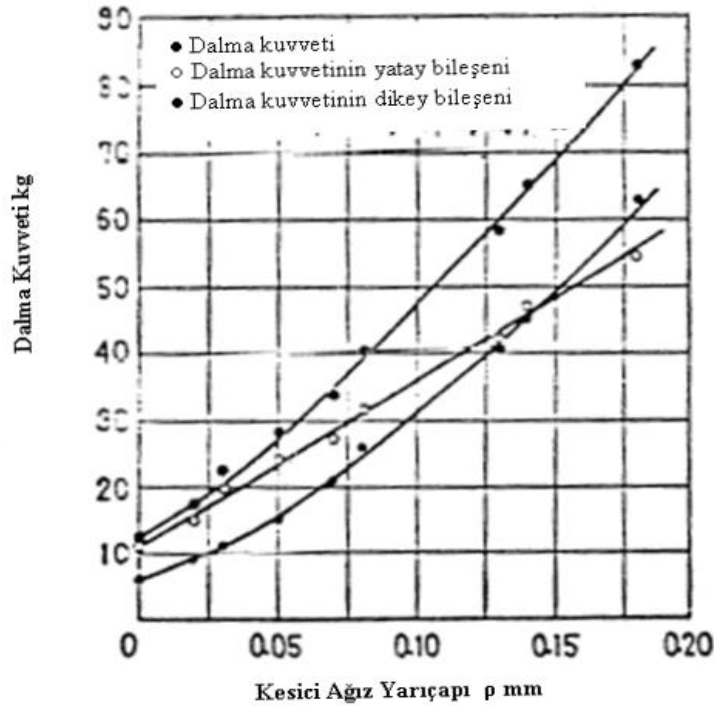
Şekil 2.14 Farklı kesici ağız yarıçaplarında kesme derinliği ile kesme kuvveti ve radyal kuvvet ilişkileri a) Pirinç, $v = 30\text{m/dak.}$, $\gamma = 10^\circ$; b) Çelik, $\alpha = 8^\circ$ (Okushima K. ve Kakino Y., 1969)



Şekil 2.15 Farklı kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliğinde kesme kuvveti ve radyal kuvvet ilişkisi (Okushima K.ve Kakino Y., 1969)

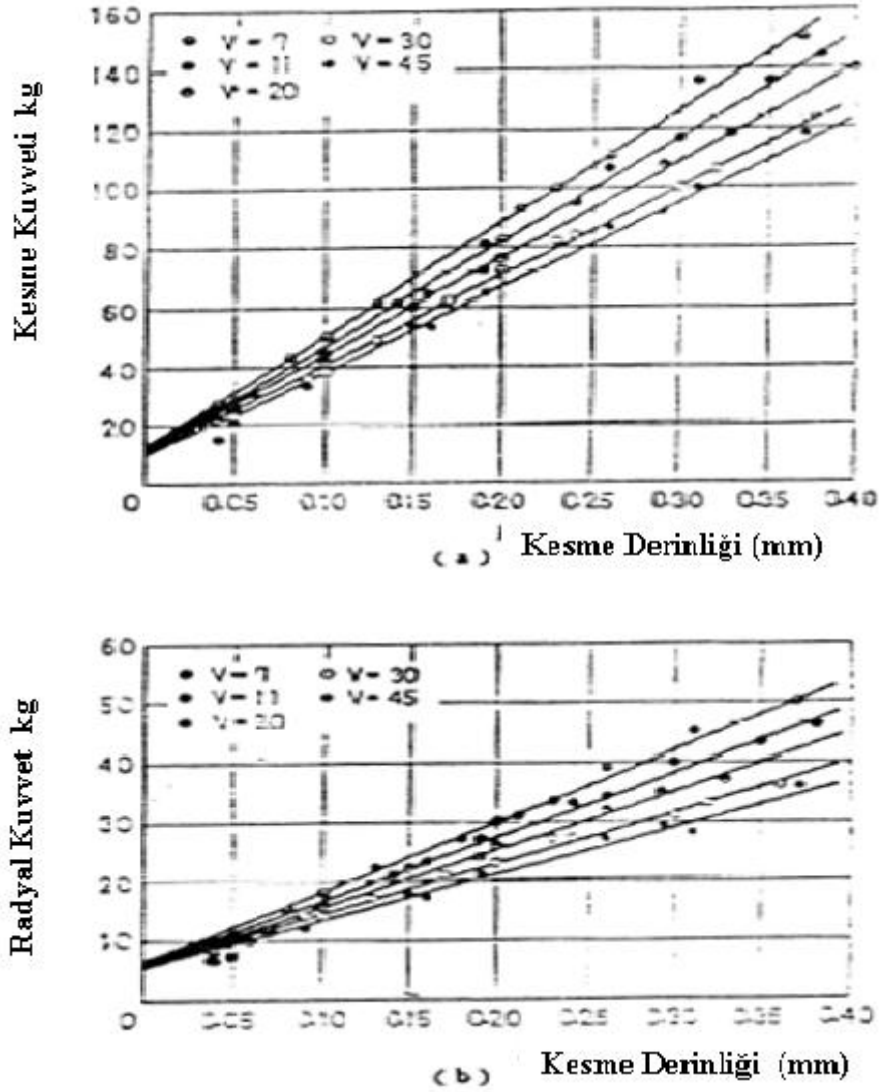
Okushima ve Kakino çalışmalarında dalma kuvvetinin kesme derinliğiyle değişmediğini varsaymışlardır. Her bir kesici ağız yarıçapı için yukarıda bahsedilen prosedürle dalma

kuvvetleri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 2.16’da verilmiştir. Kesici ağız yarıçapı arttığında dalma kuvveti artar ve yönü işlenen yüzeye dik olmaya çalışır.



Şekil 2.16 Dalma kuvveti ve kesici ağız yarıçapı ilişkisi (Okushima K. ve Kakino Y., 1969)

Pirincin talaş kaldırılmasında farklı kesme hızlarında, kesme kuvveti kesme derinliğiyle lineer olarak artar (Şekil 2.17). Sabit kesme derinliğinde kesme kuvvetleri kıyaslandığında, daha yüksek kesme hızlarında kesme kuvveti kayda değer biçimde azalır. Dalma kuvvetinin yalnızca yatay bileşeni çok küçük değişim gösterir. Normal kesme koşulları altında, kesici ağız ile yapılan işin toplam kesme işine oranı %4 ila %7 arasındadır. Bu oran her ne kadar küçük görünse de, yeni yüzey oluşumu için çok önemlidir. Deneylerle bulunan dalma kuvveti büyüklüğü kesici ağız yarıçapıyla neredeyse doğrusal orantılıdır. Özellikle kesme derinliği 0,2 mm’den daha küçük olduğunda dalma kuvveti daha fazla deforme olmuş yüzey katmanını oluşturur. 0,2 mm’den büyük kesme derinliğinde, deforme olmuş yüzey katmanının derinliği kesme derinliğine bağlıdır. Yüzey katmanının derinliği kesici ağız yarıçapıyla neredeyse doğrusal olarak artar. Bu, dalma kuvvetinin kesici ağız yarıçapıyla doğrusala yakın arttığı gerçeğiyle ilişkilidir. Bu sonuç, kesme hızı değiştiğinde işlenen parçadaki sıcaklık ve deformasyon hızı değişmesinden ileri gelir (Okushima ve Kakino).



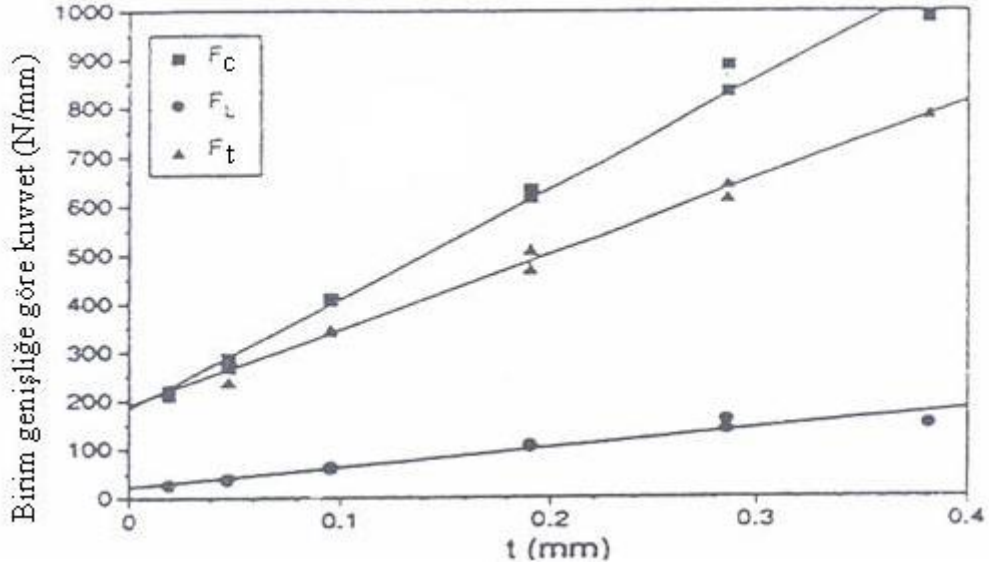
Şekil 2.17 Farklı kesme hızlarında kesme derinliği ile kesme kuvveti ve radyal kuvvet ilişkisi
(Okushima K.ve Kakino Y., 1969)

Abdelmoneim M. Es. ve Scrutton R.F. (1974b) araştırmalarında son pasoda kesici ağız yuvarlatılmış takımın etkisini test etmişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmının amacı, büyük kesici ağız yarıçapına sahip takımın, talaş kaldırma esnasındaki kesme etkisini ortaya çıkarmaktır. Bu deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi % 65 bakır içeren pirinç ve çinkodur. Ölü bölge boyutunun, kesme hızına ve takımın talaş açısına bağlı olduğunu savunmuşlardır.

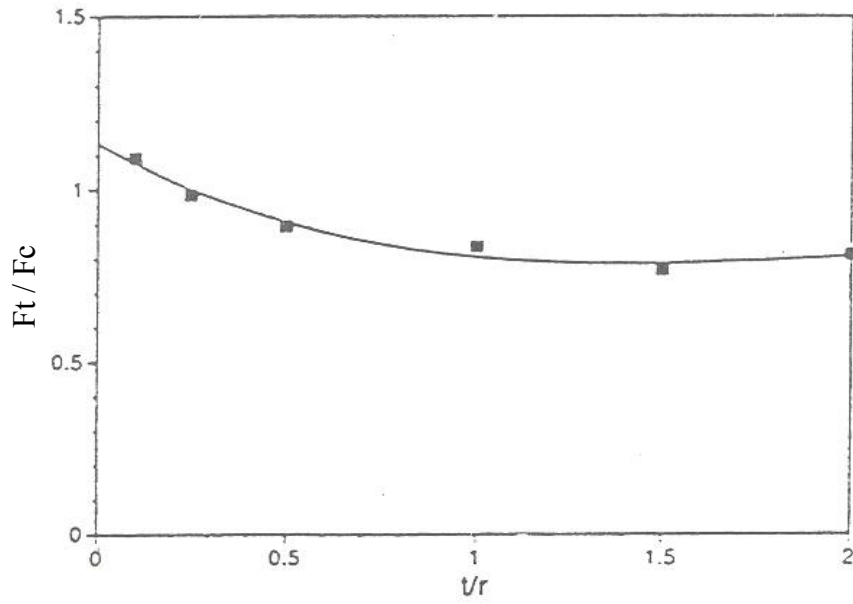
Kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada ortalama talaş açısı modeli Manjunathaiah J. ve Endres J.W. (1999) tarafından ileri sürülmüştür. Yapılan ortogonal talaş kaldırma testlerinde ortalama kesici ağız yarıçapındaki değişimin, özellikle daha küçük kesme derinliği değerlerinde, talaş kaldırma kuvvetlerinde tahmini %20-40 artışına sebep olabileceği

gösterilmiştir. Spesifik enerji, verilen kesme derinliği değeri ve oluşan daha büyük talaş kaldırma kuvveti nedeniyle artan kesici ağız yarıçapı ile birlikte artar. Kesici ağız yarıçapı ile spesifik enerji arasında bir lineer ilişki gözlemlenmiştir. Manjunathaiah ve Endres'e göre kesme derinliği azaldığında spesifik enerjide artış göze çarpar.

Manjunathaiah J. ve Endres J.W. (1996) çalışmalarında azalan kesme derinliğine paralel olarak, bazı koşullar altında dalma ve serbest yüzey sürtünmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar dalma ve sürtünme mekanizmasını birlikte tanımlamışlardır (Lucca v.d., 1992). Manjunathaiah ve Endres çalışma mekanizmalarını ayrı ayrı nicel olarak tanımlamak ve kesme derinliğinin kesici ağız yarıçapına göre azalması ile enerji harcanmasına olan etkilerini incelemek için deneylerinde AISI 1020 çeliği kullanmışlardır. Şekil 2.18'de ölçülen kesme, radyal ve yanal kuvvetlerin kesme derinliğine göre değişimi verilmiştir. Kuvvetler ve kesme derinliği arasında lineer ilişki gözlenmiştir. Şekil 2.19'da t/r (t kesme derinliği, r kesici ağız yarıçapı) oranı 0,2 iken radyal kuvvetin kesme kuvvetini geçtiği görülür. Tüm testlerde sürekli talaş gözlenmiştir. Kesme derinliği azaldıkça görünen talaş açısı üzerindeki kesici ağız yarıçapı etkisi artar. Dalmanın nedenlerinden biri olarak talaş açısının yüksek negatif değerlere ulaşabileceği görülmüştür. Çok büyük negatif talaş açısından dolayı en küçük t/r oranı için kayma açısında ani azalma gözlemlenmiştir. Yapılan deneylere ek olarak çok yüksek t/r oranında deneyler yürütülmüştür. Bu t/r seviyesinde toplam spesifik enerjiyi sabit varsaymak mümkün olacağı gibi, genel bir varsayım olarak kesici ağız yarıçapından dolayı oluşan dalma etkisi de minimum olacaktır. Dalmadan dolayı harcanan enerji miktarını belirlemek için Manjunathaiah ve Endres bir metot ortaya koymuşlardır. Serbest yüzey kuvvetlerini hesaplamak için de birkaç farklı metot kullanmışlardır. Sonuç olarak, toplam dalma enerjisinin sadece kesici ağız yarıçapının fonksiyonu olduğunu savunmuşlardır.



Şekil 2.18 Kesme kuvvetlerinin birim genişliğe göre değişimi (Manjunathaiah J.ve Endres J.W., 1996)



Şekil 2.19 F_t/F_c oranının t/r oranına göre değişimi (Manjunathaiah J. ve Endres J.W., 1996)

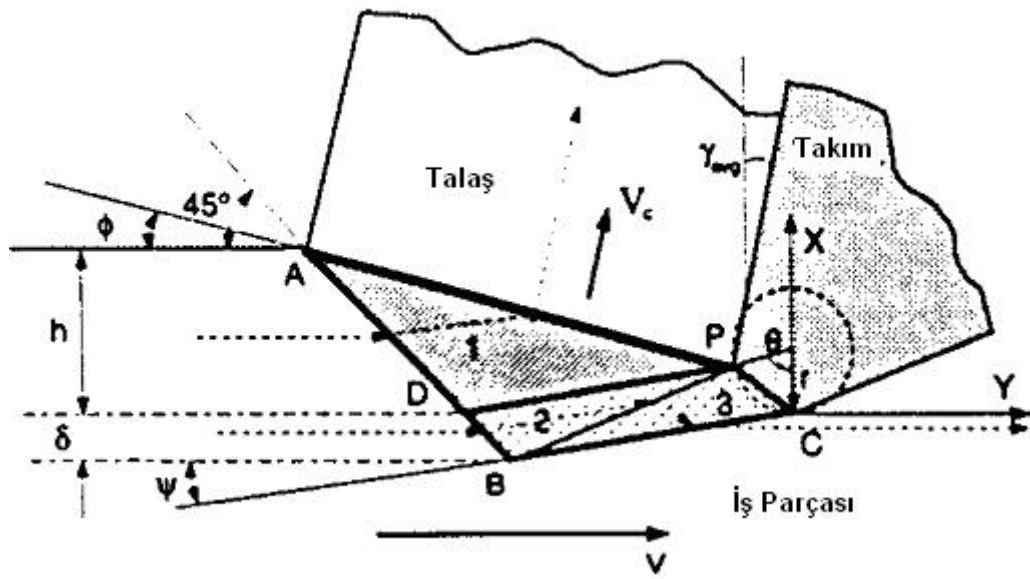
Wang W. (2003) çalışmasında, AISI 1018 çelik için kesici ağız yarıçapının veya kesme derinliğinin artışıyla F_c ve F_t kuvvetlerinin arttığını belirtmiştir.

Endres W.J. ve Kountanya R.K. (2002) kesici ağız yarıçapının takımın aşınma üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Kesici ağız yuvarlatılmış takım keskin ağızlı takıma göre kuvvet oluşumu olarak aynı trendi göstermekte fakat radyal kuvvette artış görülmektedir. Endres ve Kountanya'ya göre kesici ağız yarıçapının aşınmaya etkisi vardır ve kesici ağız yarıçapı takım aşınmasını azaltmaktadır.

Kesici ağızı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma işlemini anlamak için, birçok modelleme yapılmıştır. Yapılan modellerde daha çok kayma hattı modeli kullanılmıştır. Bu modellerin bazılarında ölü bölge tanımlanmış bazıları ise ayrılma noktasını belirtmişlerdir. Uygulanan modelleri şu şekilde inceleyebiliriz.

Waldorf D. J., DeVor R. E. ve Kapoor S. G. (1998) ortogonal talaş kaldırma deneyleri uygulayarak, torna tezgahında 6061-T6 alüminyum malzeme ile kayma hatları yöntemini esas alan kuvvet tahminini gerçekleştirdiler. Bir kayma hattı modeli, kesici ağızı yuvarlatılmış takımla ortogonal talaş kaldırma esnasındaki dalmadan ötürü oluşan kuvvetleri hesaplamak için geliştirildi. Bu model, kayma hatları bölgesini esas alır ve takım önünde malzemenin yükselmesini, bozulma etkisi yapan iş parçası malzemesinin ya talaş içine veya iş parçası içine doğru gittiğini kabul eder. Kabul edilen modelde ölü bölgenin kesici ağıza yapıştığı varsayılır. Önerilen kayma hattı modeli, dalma kuvvetinin toplam kuvvete oranının büyük olduğu durumlarda toplam kuvvet tahminini çok mükemmel yapmaktadır. Büyük kesici ağız yarıçapıyla ve küçük talaş derinliğiyle yapılan talaş kaldırmalarda uygun sonuçlar vermektedir. Aynı şekilde küçük kesici ağız yarıçaplı takımlarla da güzel tahminler elde edilmiştir. Waldorf v.d.'nin kayma hattı modeli, talaş kaldırmada boyut etkisinin açıklanmasına, takım aşınması tahmini yapılmasına yardımcı olmuştur.

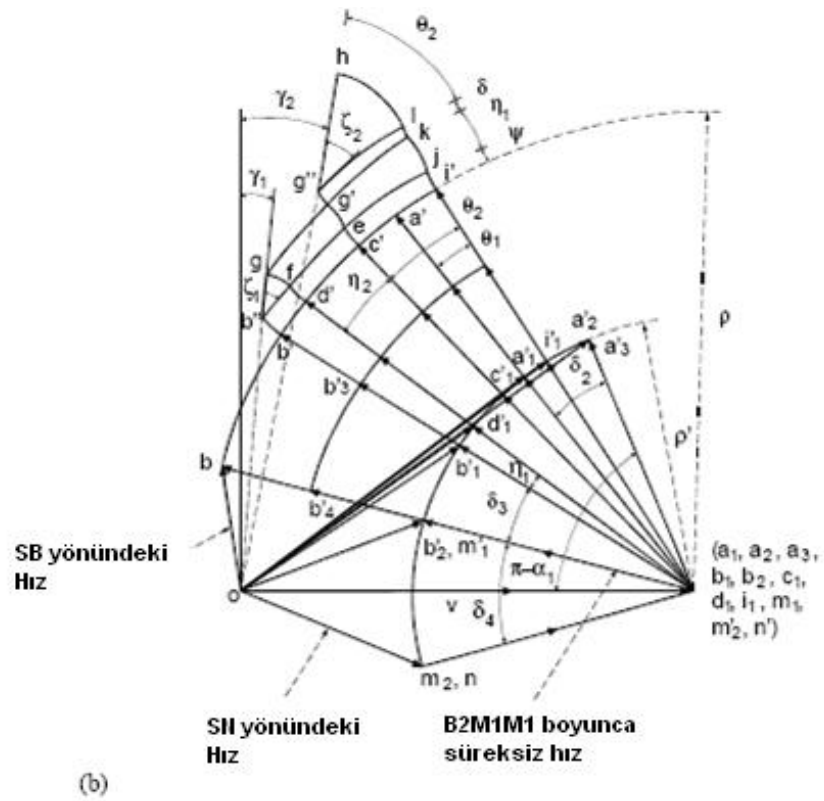
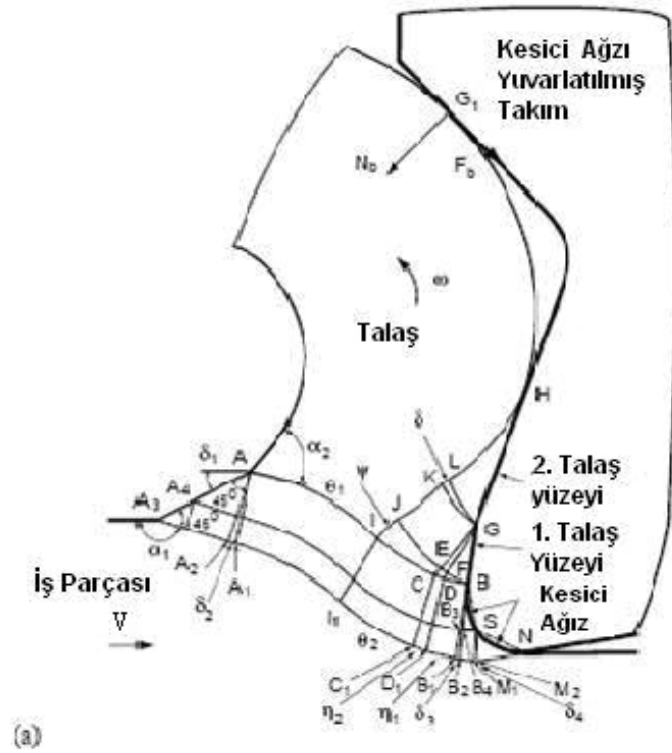
Manjunathaiah J. ve Endres J.W. (2000) ortogonal talaş kaldırma modelinde (Şekil 2.20), plastik deformasyon bölgesi ABC'nin alt sınırında kuvvet dengesini düşünmüşlerdir. Kuvvetlerin belirlenmesini, kesici takıma etkiyen kuvvetlerin iş parçası malzemesine etkiyen kuvvetlerle eşitlenmesi yoluyla yapmışlardır. Şekil 2.20'deki prosesin ideal geometrisinde, takımın en alt ucu C noktasında ölçülen takımın yarıçapı r , kesme derinliği h olarak gösterilmiştir. Talaş ayrılma noktası P (ayrılma açısı θ ile tanımlanmıştır) akışın ikiye bölündüğü nokta olup, takım yarıçapı üzerinde bulunmaktadır. P noktasının dik yüksekliği Şekil 2.20'de görüldüğü gibi dalma derinliği θ ve r 'nin fonksiyonudur ($\theta < 25^\circ$ alınmış olup, önceki araştırmalarda gözlenen değerlerden küçüktür). Kesici takımın CP yayı yaklaşık CP çizgisi olarak alınmıştır. Deformasyon bölgesi ABC'nin alt sınırı iki düzlemin kesişimiyle meydana geldiği varsayılmıştır. AB çizgisi serbest yüzeyle 45° ile buluşur (kayma hattı olduğundan). BC sınırı deformasyon bölgesinin alt tarafındadır ve eğimi yatayla ψ açısıdır. Deformasyon bölgesinin üst sınırı geleneksel AP kayma düzlemiyle sınırlandırılmış ve yatayla yaptığı açı ϕ 'dır.



Kountanya K. R. ve Endres W. J. (2001) çalışmalarında kesici ağız yarıçapları 5-150 μm arasında olan takım ve Schimmel (1997) tarafından detayları sunulan Wyko interforemetre kullanmışlardır. Büyük kesici ağız yarıçapında kör takım ile talaş kaldırmada talaş kıvrılmasının daha çok olduğunu savunmuşlardır. Bunun nedeni, talaş malzemesindeki deformasyonun artmasıyla görünen negatif talaş açısı geometrisi etkisinin, talaşın kayma açısını azaltması ve bu sayede daha büyük talaş kıvrımı oluşturmalarıdır. Kountanya ve Endres çalışmalarında pirinç iş parçası malzemesi için ölü bölgenin oluştuğunu savunmuşlardır. Geometrik bir talaş kaldırma modeli oluşturamamışlardır. Manjunathaiah ve Endres'in geometrik modelini kabul etmişler, sadece oluşan kuvvet ve hız yönlerini modelde göstermişlerdir.

Fang N. 2001 yılında yaptığı çalışmada daraltılmış talaş yüzü takım için geçerli bir kayma hattı modeli geliştirmiştir. Çalışmasında iş parçası malzemesini tamamen plastik kabul etmiştir. Fang, sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırıldığında, kayma hattı modelinin tüm deformasyon bölgesindeki talaş akışını net bir şekilde gösterdiğini belirtmiştir. Fang'ın kayma hattı modeli, daraltılmış talaş yüzü negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmada yaygın olarak görülen ölü bölge için geçerli bir açıklama sağlar. Bu çalışmada Fang, kayma hatlarının matematik modeli için Dewhurst ve Collins'in matris tekniğini uygulamıştır.

Fang N. Bir başka çalışmasında (2003a) kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırma için bir kayma hattı modeli sunmuştur. Bu çalışma, sürekli talaş oluşumlu ortogonal talaş kaldırma içindir, tüm kayma hatları alanını 27 alt bölgeye ayırmıştır. Her bir kayma hatları alt bölgesinin fiziksel anlamı açıklamış ardından da modelin farklılığını belirtmiştir. Bu çalışmada da, modelini Dewhurst ve Collins'in (1973) kayma hattı problemlerinin nümerik çözümleri için oluşturdukları matris tekniklerine dayandırmıştır. Şekil 2.21 kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmayı içeren kayma hattı modelini ve ona bağlı hodografi göstermektedir. Kayma bölgeleri alanı bu bölgelerdeki kayma hatları net göstermek amaçlı abartılmıştır. Takımın yuvarlatılmış kesme kenarı BN, eğrisel sürtünme sınırlı kayma hattı problemlerinin matematiksel formülasyonunu basitleştirmek için SB ve SN isimli iki düz çizgi ile yaklaşık olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.21 a) Kesici ağız yuvarlatılmış takım için kayma hattı modeli b) hodograf (Fang N., 2003a)

Şekil 2.21’de S noktası akış halinde olan materyalin durgunluk noktasıdır. Talaş kaldırma literatüründe bu, ayrıca ayrılma (talaşın ayrıldığı) ya da nötr noktası olarak da isimlendirilir.

Dikkate değer deneysel sonuçlar açıkça göstermiştir ki işlenen iş parçası malzemesi takımın kesici ağzı etrafında zıt yönlü akış gösterir. Malzemenin bir kısmı S noktasından B noktasına yarıçap boyunca yukarı doğru akarken, aynı anda diğer kısmı S noktasından N noktasına aşağı doğru akmaktadır. Fang talaş kaldırmada birinci deformasyon bölgesinin kalınlığını öngörmek için bir analitik denklem sunmuştur. Bu sayede birinci deformasyon bölgesindeki deformasyon hızının belirleneceğini savunmuştur.

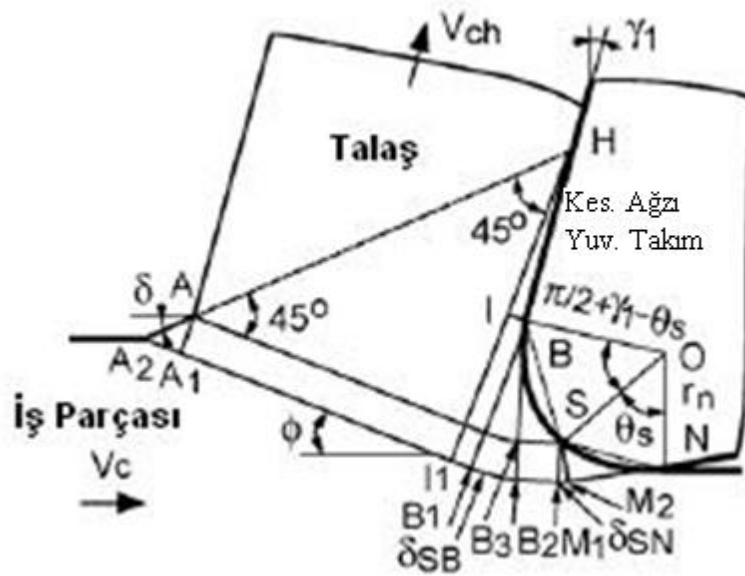
Son beş yıl içinde yapılan çalışmalarda kesici ağız yarıçapının talaş kaldırmaya etkisiyle ilgili birçok makale yazılmış ve deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

Tuğrul Özel v.d. (2005) yaptığı çalışmada CBN kesici takım ile AISI H13 malzemenin talaş kaldırmasında takımın kesici ağzının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, kesici takım geometrisi parametrelerinin, iş parçası malzemesi sertliğinin ve kesme hızının talaş kaldırma kuvveti bileşenlerine etki ettiğini belirtmişlerdir. Küçük yarıçap ve malzeme sertliğinin az olmasının küçük kuvvet oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Partchapol S. v.d. (2004) çalışmalarında farklı (pahlı ve yuvarlatılmış uçlu) kesici ağız geometrisine sahip takımların performanslarını ölçmüşler ve FEM yöntemi kullanmışlardır. Deneylerde AISI-1020 iş parçası malzemesi seçmişlerdir. Talaş yüzeyindeki sıcaklığın kesici ağız yarıçapının artışıyla arttığını belirtmişlerdir. Bu da, kesici ağız yarıçapının büyük olduğu durumda plastik deformasyonun fazla olacağına bir delil olarak kabul edilebilir. Partchapol v.d.'ne göre kesici ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır. Kesici ağız yarıçapının gerinmeye etkisi az olup sıcaklık dağılımına etkisinin olduğu görülmüştür.

Fang N. ve Fang G. (2007) küçük ilerleme ile kesici ağzı yuvarlatılmış takımla talaş kaldırmada, son pasoda takım geometrisi etkisinin öneminin büyük olduğunu düşündüler. Çalışmalarında, hem teorik hem de deneysel araştırmalar yaparak analitik ve FE (sonlu elemanlar) modelleriyle elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Kesme kuvvetinin ve radyal kuvvetin önceden belirlenmesinde, talaş kalınlığını ve takım-talaş temas uzunluğunu içeren çoklu kriterler kullanmışlardır. Deneysel çalışmayı 6061-T6 alüminyum malzeme ile gerçekleştirmişlerdir. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımla talaş kaldırma için bir kayma hattı modeli geliştirdiler (Şekil 2.22). Burada S, ayrılma noktası olarak da belirtilen

malzeme akışı durağan noktasıdır. Malzemenin bir kısmı yukarı B noktasına doğru, diğer bir kısmı aşağıya doğru yani N noktasına doğru akar. Bu modelde θ_s açısı S noktasının yerini belirler. Analitik modelin matematik bağıntıları çıkartılmıştır. Fang θ_s açısını 25° kabul ederek ampirik eşitlik geliştirmiştir. Buna göre talaş-takım sürtünmesi kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça azalır. Model işlenen yüzey ve takım talaş ara yüzeyi boyunca fazla miktarda gerilim oluştuğunu gösterir. Birinci ve üçüncü deformasyon bölgesinde fazla deformasyon hızı oluşur. Birinci deformasyon bölgesinde ve kesici ağzı yuvarlatılmış takımda büyük gerilim meydana gelir.



Şekil 2.22 Kesici ağzı yuvarlatılmış takımla talaş kaldırma için kayma hattı modeli (Fang N. ve Fang G., 2007)

Karpat Y. ve Özel T. (2007) negatif talaş açılı eğrisel PCBN takımla AISI 4340 çeliğin yüksek hızda talaş kaldırılması üzerine çalışmışlardır. Kesme hızı olarak 125, 150 ve 175 m/dak kullanmışlardır. Kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma mekanizmasına önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Küçük kesme derinliğinde büyük kesici ağız yarıçaplı takımlar, büyük kuvvetler doğurduğundan uygun değildir. Kesici ağzın eğrisel formunun kesici takımın kesici ağzını koruduğunu vurgulamışlardır. Karpat ve Özel'e göre eğer kesici ağız yarıçapı gerektiği gibi seçilmezse kesme kuvvetleri artar, düşük kalitede yüzey oluşur ve takım ömrü azalır.

Palmer ve Yeo kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada malzeme akışı ve durgun bölgeyle alakalı çelik malzeme ile deneyler gerçekleştirmişlerdir. Palmer ve Yeo malzemenin akışının ölü bölgeyle değiştiğini belirtmişler ve ölü bölgenin göreceli olduğunu savunmuşlardır. Fakat ayrılma noktası ile ilgili bir bilgi vermemişlerdir. Warnecke çinko için ölü bölgenin oluşmadığını savunmasına rağmen daha sonraki yıllarda Kountanya ve Endres çinko için ölü bölgenin oluştuğunu deneylerle kanıtlamışlardır. Abdelmoneim ve Scrutton'a göre ölü bölge boyutu kesme hızına ve takımın talaş açısına bağlıdır. Abdelmoneim ve Scrutton ölü bölgeyi stabil kabul etmiştir. Fang, N. ve arkadaşı (2005), Fang, N. ve arkadaşı (2002) ve Fang, N. (2002) pozitif talaş açılı takım ile talaş kaldırma için kayma hattı çözümleri yapmışlardır. Kesici ağız yuvarlatılmış takım için Fang N.ve Fang G. (2007) model oluşturmuşlardır. Fakat bu çalışma analitik çalışmadır. Ayrılma noktasını kesici ağız yarıçapına, ayrılma açısına ve talaş açısına bağlı kalarak matematik bağıntılarla çözmüşlerdir. Fang (2003a) kesici ağız yuvarlatılmış takım için 27 bölgeye sahip kayma hattı modeli oluşturmuştur. Fakat sadece birinci deformasyon bölgesini kayma hattı modeli ile çözmüştür. Ölü bölgenin değişimi hakkında bilgi vermemiştir. Manjunathaiah ve Endres'in modeli kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için uygulanmıştır. Modelin temelinde kesici ağız yarıçapını negatif talaş açısına benzeterek analitik çözüm mevcuttur. Ortalama talaş açının tanımlanması gerekmektedir. Modeldeki ölü bölge yoksunluğu zayıf noktasıdır. Çoğu çalışmalarda kayma hattı modellerindeki sonuçlar ampirik formülasyon olarak kalmıştır. Kayma hattı bölge açılarının değişimleri araştırılmamıştır. Ölü bölgeyi belirten net deneysel görüntüler mevcut değildir.

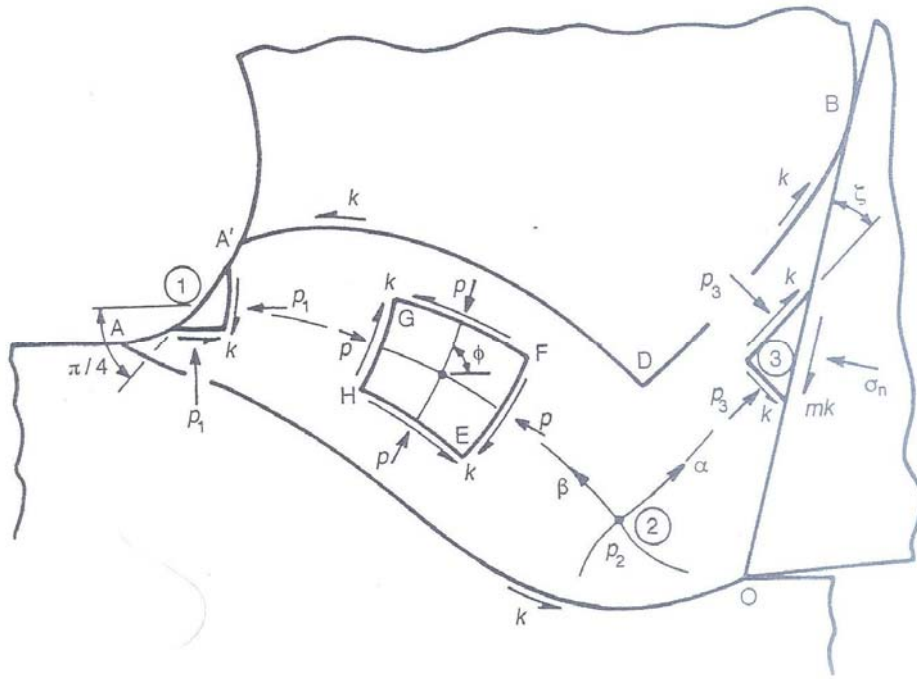
Yapılacak çalışmayla, kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla pirinç malzemenin talaş kaldırılmasında ölü bölgeyi içeren yeni bir kayma hattı modeli geliştirilecektir. Deneysel veriler ışığında kayma hattı modeliyle çözüm yapıp oluşan mekanizma belirlenecektir.

İkinci sınır değer problemi; bilinen ve akma kriterini sağlayan gerilmeler boyunca bir eğri tarafından belirtilen kayma eğrisi alanının belirlenmesidir. Bu eğrinin birden fazla kayma eğrisini kesmediği kabul edilmiştir. Üçüncü sınır değer problemi ise, kayma hattı açısının bilindiği fakat basıncın bilinmediği durumda iki farklı eğri verildiğinde ortaya çıkar. Basınç değerleri, Hencky eşitliklerinin uygulaması ile elde edilir. Bu şekilde kayma hattı alanları sayısal ve grafik yöntemle çözülür.

3.2 Kayma Hattı Modelleme

Oluşturulan kayma hattı alanlarında, kuvvet dengesinin var olduğu ve şekil değiştirmenin iki ekseninde olduğu kabul edilir. Malzemenin tam plastik olduğu varsayılır. Kayma hattı alan teorisi bir yerden bir yere gerilim ve hızın nasıl değiştiğini belirtir. Kayma hattı alan teorisinin bir kuralı da malzemenin bir kısmı plastik şekil değiştirme için zorlanıyor diğer alanı zorlanmıyorsa sınırlar arasındaki bölge kayma hattı bölgesidir. Böylece talaş kaldırma işleminde birinci kayma bölgesi, iş parçası malzemesi ve talaş arasında; ikinci kayma bölgesi; kesici takım talaş yüzeyi ve talaş arası kayma hattı bölgesidir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi OA, A'D ve DB kayma hattı sınırlarıdır. Plastik bölge içindeki kayma hattı bölgesi 2 noktasında birleşmekte ve α , β kayma hatları olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi; kayma hattı bölgesinde birim eleman EFGH olarak tanımlanmıştır (kayma gerilmesi k ve etki eden hidrostatik basınç p). Takım serbest yüzeyine ve talaş yüzeyine 1 ve 3 nolu bölgeler eklenmiştir. Hidrostatik basınç değişimi, kayma hattı bölgesi boyunca oluşan kuvvet dengesiyle bulunabilir (Thomas C. v.d., 2000).

EFGH dörtgeninde EF ve GH değerleri HG ve HE değerlerine bağlıdır. Eğer OA ve AA' bilinirse birinci deformasyon bölgesi bulunabilir. Belirtilen bu üçgen ve dörtgen kayma hattı bölgelerinin çözümü uzun matematiksel denklemler gerektirmektedir. Bu çözümleri, Dewhurst ve Collins 1973 yılında bir çalışmada yapmış, üçgen ve dörtgen rijit kayma hattı bölge alanları için matris çözümü sunmuşlardır.



Talaş kaldırma için geliştirilmiş önemli altı talaş kaldırma modeli bulunmaktadır. Merchant'ın modeli (1944), Lee ve Shaffer'ın modeli (1951), Dewhurst'ın modeli (1978), Fang vd. modeli (2001) ve Fang'ın modeli (2002, 2003). Kayma hattı yöntemi kullanılarak modelleme 1978 yılından itibaren yapılmıştır.

Şekil 3.3’de Fang v.d. sınırlandırılmış takım talaş kaldırma modeli (2001) görülmektedir. Diğer modellerde buna benzemekte olup bu modelin temel prensibi:

- a) BFG üçgen bölgesi, deforme olan talaş ile takım talaş yüzeyi alt kısımları arasındaki sürtünme koşullarını oluşturan takım talaş yüzeyine komşudur. Büyük sürtünme koşulları altında talaş yüzeyinde sürtünme kayma gerilimi ile malzeme kayma akma gerilmesi k eşit olursa bu bölge oluşmaz.
- b) EFG üçgen bölgesi talaş geri akış etkisi oluşturur. Düz yüzeyli takım için Dewhurst’ın modelinde bu bölge CDEF bölgesiyle birlikte tek bölge kabul edilir.
- c) BDF üçgen bölgesi takım ucunda bulunan B noktasındaki gerilim sonucu oluşur. Bu bölge, takım talaş yüzeyine bitişik olan talaş malzemesi akışının gecikmesiyle meydana gelir. Bazı modellerde bu bölge ihmal edilmiştir.
- d) Konveks kayma düzlemi AC tamamen talaş kıvrılma etkisini oluşturur.
- e) Eğri çizgili dikdörtgen CDFE bölgesi kayma düzlemi AC, EFG ve BDF bölgeleriyle birleştirilmiştir.

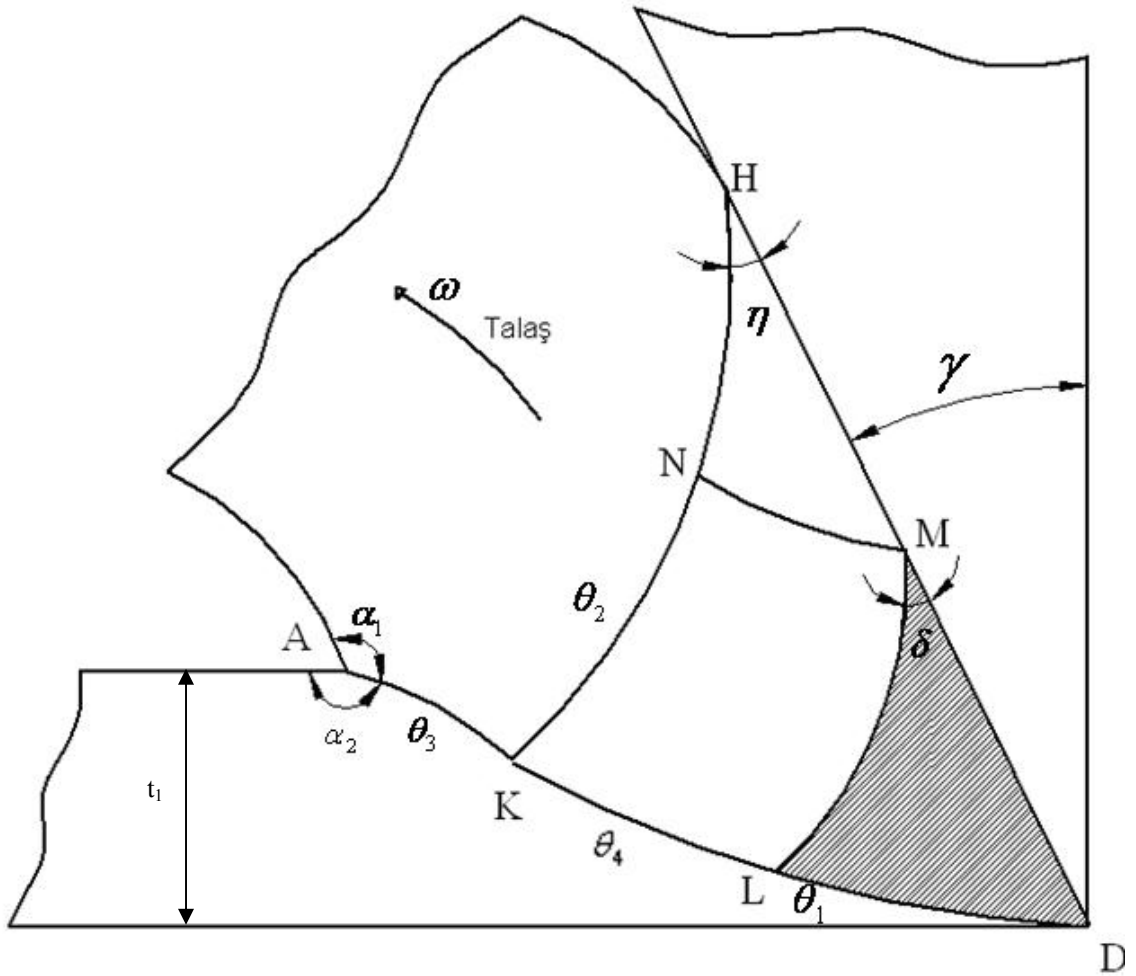
Fang (2001), çalışmasında dört kayma hattı bölge açısı $(\theta, \eta_1, \eta_2, \psi)$ tanımlamıştır. Bu çalışmasıyla, ana giriş parametrelerinin çıkış parametrelerine etkisini teorik olarak yayınlamış, bazı nicel ilişkiler belirtmiştir. Sonuçlar, kesme kuvveti ve kesme derinliğini içeren talaş kaldırmadaki çıkış parametre büyüklüğünün talaş kaldırma koşullarının tümüne bağlı olduğunu göstermiştir.

3.2.1 Negatif Talaş Açılı Takımlarla Talaş Kaldırma İçin Kayma Hattı Modelleme

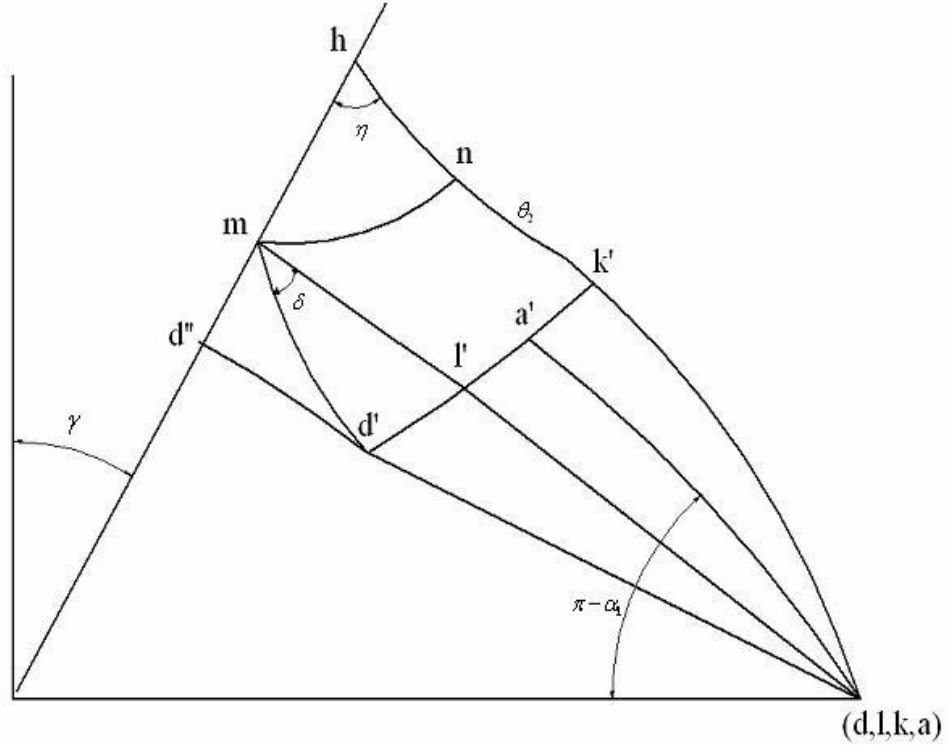
Önceki çalışmalar incelenerek negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma için yeni bir kayma hattı modeli oluşturuldu. Bu model, daha önceki çalışmalarda bulunmayan talaş yüzeyinin önünde ölü bölgeye sahip üç bölgeden oluşan yeni bir modeldir.

Modellemede bazı temel kabuller yapılmıştır. Bunlar; Ortogonal talaş kaldırma kabulü ve iş parçası malzemesinin rijit plastik olduğudur. Bir başka deyişle plastik deformasyon olunca materyal özelliği gerilimle, gerinmeyle, deformasyon hızıyla ve sıcaklıkla değişmez.

Dewhurst ve Collins'in (1973) kayma hattı problemlerini çözmek için oluşturduğu matris algoritması bu çalışmada kullanılmıştır. Bu algoritma, kayma hattı problemlerinin çözümleri için uygulanmaktadır. Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmayı içeren yeni kayma hattı modeli Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.5 ise ona bağlı hodografı göstermektedir. Hodograf sayesinde yeni modelin kayma hattı bölgeleri için açı bağıntıları ve ω açısal hızı için denklemler belirlenebilmektedir. Kayma bölgelerinin alanı bu bölgelerdeki kayma hatlarını net göstermek amaçlı abartılmıştır.



Şekil 3.4 Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modeli



Şekil 3.5 Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı model için hodograf

Geliştirilen yeni modeldeki bölgeler;

- DLM bölgesi, takım önündeki ölü ve takımın talaş yüzeyine komşu olan bölge.
- AK, talaşın kıvrılmasını sağlayan konveks kısım.
- KLMN eğrisel dörtgen bölgesi, kayma yüzeyi ile HNM bölgesi arasında bağlantıyı sağlayan bölge.
- HNM bölgesi, deforme olan talaş ile takımın talaş yüzeyinin sürtünmesiyle oluşan bölgedir.

3.2.1.1 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Yeni Kayma Hattı Modelinin Matematiksel Bağlılıkları

Yeni kayma hattı modelini oluştururken Dewhurst ve Collins'in (1973) matris algoritması kullanıldı. G, P, P^*, Q, Q^*, R Dewhurst ve Collins (1973) tarafından tanımlanan temel matris operatörleridir.

3.2.1.1.1 Modeldeki Kayma Hatları Arası İlişkiler

Modellemeyi yapabilmek için iki vektör tanımlandı bunlar;

HN ve ML sırasıyla σ_1 ve σ_2 vektörleridir.

HNM bölgesindeki MN şu şekilde hesaplanır.

$$MN = \sigma_{\eta} \cdot \sigma_1 \quad (3.1)$$

DLM bölgesindeki DL şu şekilde yazılır

$$DL = \sigma_{\delta} \cdot \sigma_2 \quad (3.2)$$

MNKL bölgesinde ise

$$KL = MN + \rho \cdot c \quad (3.3)$$

$$KL = P_{\eta\theta 2} \cdot MN - Q_{\theta 2\eta} \cdot \sigma_2 \quad (3.4)$$

$$MN = P_{\theta 4\theta 2} \cdot KL + Q_{\theta 2\theta 4} \cdot KN \quad (3.5)$$

$$KN = P_{\theta 3\eta} \cdot \sigma_2 - Q_{\eta\theta 3} \cdot MN \quad (3.6)$$

Yukarıdaki eşitlikler çözülerek σ_2 , σ_1 cinsinden bulunur. Bu sayede vektör sayısı birer. θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 kayma hatları açıları olup Şekil 3.4’de gösterilmiştir. η kayma hatları açısı olup Şekil 3.4’de gösterilen $N\hat{H}M$ açısıdır. δ ise takım talaş arasındaki sürtünme ve ölü bölge açısıdır. α_1 iş parçası serbest yüzeyiyle AK kayma hatları arasındaki açı, α_2 talaş serbest yüzeyiyle AK kayma hatları arasındaki açı, γ talaş açısı, ω açısal hız, k akma gerilmesi, w işleme genişliği, t_1 kesme derinliği, ρ kayma hattı bölgesindeki kayma hızı, c ise sabit sayıdır.

3.2.1.1.2 Hodograftaki Kayma Hatları Arası İlişkiler

Hodograf sonucu elde edilen denklemler;

$$hn = \omega \cdot \sigma_1 \quad (3.7)$$

$$k'n = \omega \cdot KN \quad (3.8)$$

$$k'l' = \rho \cdot c \quad (3.9)$$

$$hn = \sigma_{\eta} \cdot mn \quad (3.10)$$

$$mn = P_{\eta\theta 2} \cdot k'l' - Q_{\theta 2\eta} \cdot k'n \quad (3.11)$$

mn şu şekilde yazılır:

$$mn = P_{\eta\theta 2} \cdot \rho \cdot c - Q_{\theta 2\eta} \cdot \omega \cdot KN \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.6) Eşitlik (3.8)'de bulunan KN değerinin yerine konulur, $k'l'$ değeri Eşitlik (3.9) verilmiştir. Bu sayede Eşitlik (3.11) çözülür ve Eşitlik (3.12) elde edilir. Bu şekilde mn değeri çözülmüş olur. mn değeri Eşitlik (3.10)'da yerine konulur, böylece Eşitlik (3.10) çözülür. hn eşitliğini veren Eşitlik (3.7) ile Eşitlik (3.10) eşitlenerek ω bulunur.

$$\omega = \frac{P_{\eta\theta 2} \cdot \rho \cdot c}{\frac{\sigma_1}{\sigma_\eta} + Q_{\theta 2\eta} \cdot KN} \quad (3.13)$$

3.2.1.2 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Bileşke Kuvvetin Hesabı

Kuvvet DL, KL ve AK boyunca iletildiğinden

$$\frac{F}{kt_1 w} = \frac{F_{AK}}{kt_1 w} + \frac{F_{KL}}{kt_1 w} + \frac{F_{DL}}{kt_1 w} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılır. Burada;

$$AK = \left(\frac{\rho}{\omega} \right) \cdot c \quad (3.15)$$

olarak alınır. Takım talaş arasındaki sürtünme açısı yani ölü bölgenin $\hat{LMD}$ açısı ise;

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{\tau}{k} \right) \quad (3.16)$$

Kayma hattı modelinin yapılabilmesi için P_A/k ve τ/k değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. P_A hidrostatik basınç, k akma gerilmesi, τ ise kayma gerilmesini belirtir.

Fang, N. ve Jawahir, I. S. (2002) yaptığı araştırmalar sonucunda P_A/k ve τ/k 'nın negatif talaş

açısına göre değişimini belirlemiş ve makalelerinde tablo halinde sunmuştur. Bu çalışma baz alınarak yeni kayma hattı modeli için kabul edilen değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Negatif talaş açısına göre δ ve τ/k değerleri

γ	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°
τ/k	1	0,95	0,9	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
δ	0^0	9^0	13^0	16^0	18^0	20^0	21^0	25^0

P_A/k değerinin negatif talaş açısına göre değişimi için Çizelge 3.2’deki değerler alınmıştır.

Çizelge 3.2 Negatif talaş açısına göre P_A/k değeri

γ	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°
P_A/k	0,85	0,9	0,95	1	1	1	1	1

Buna göre τ/k değeri γ negatifleştikçe azalır, P_A/k değeri γ negatifleştikçe artar. Şekil 3.5’deki yeni kayma hattı modeli için oluşturulan hodograftan α_1 şu şekilde belirlenir.

$$\alpha_1 = \pi + \theta_3 - \theta_1 - \theta_4 - \gamma - \delta \quad (3.17)$$

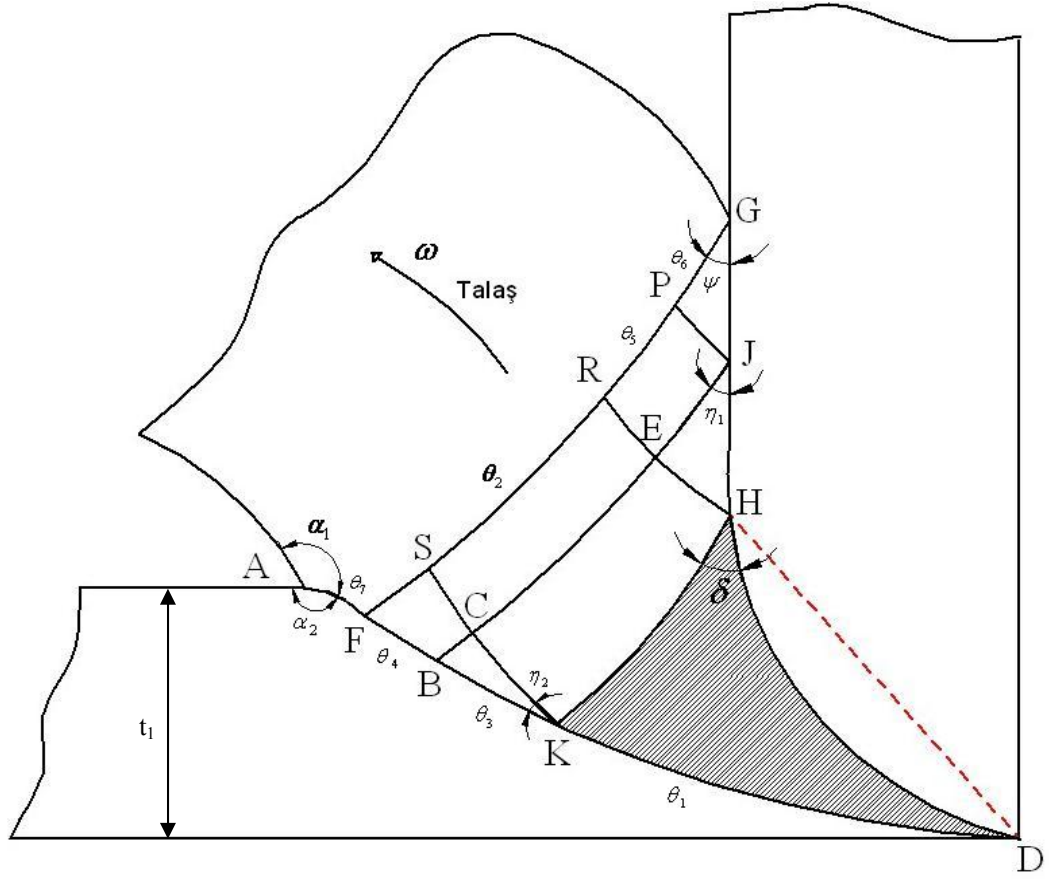
Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma işlemi için yeni modelin tüm kayma hattı formülleri ve model için öngörülen şartlar için gerekli bağıntıların tümü bulunmuştur. Bundan sonraki bölümlerde deneylerde elde edilen kuvvet değerleri ile modellemenin analizi yapılacaktır.

3.2.2 Kesici Ağız Yuvarlatılmış Takımlarla Talaş Kaldırma İçin Kayma Hattı Modelleme

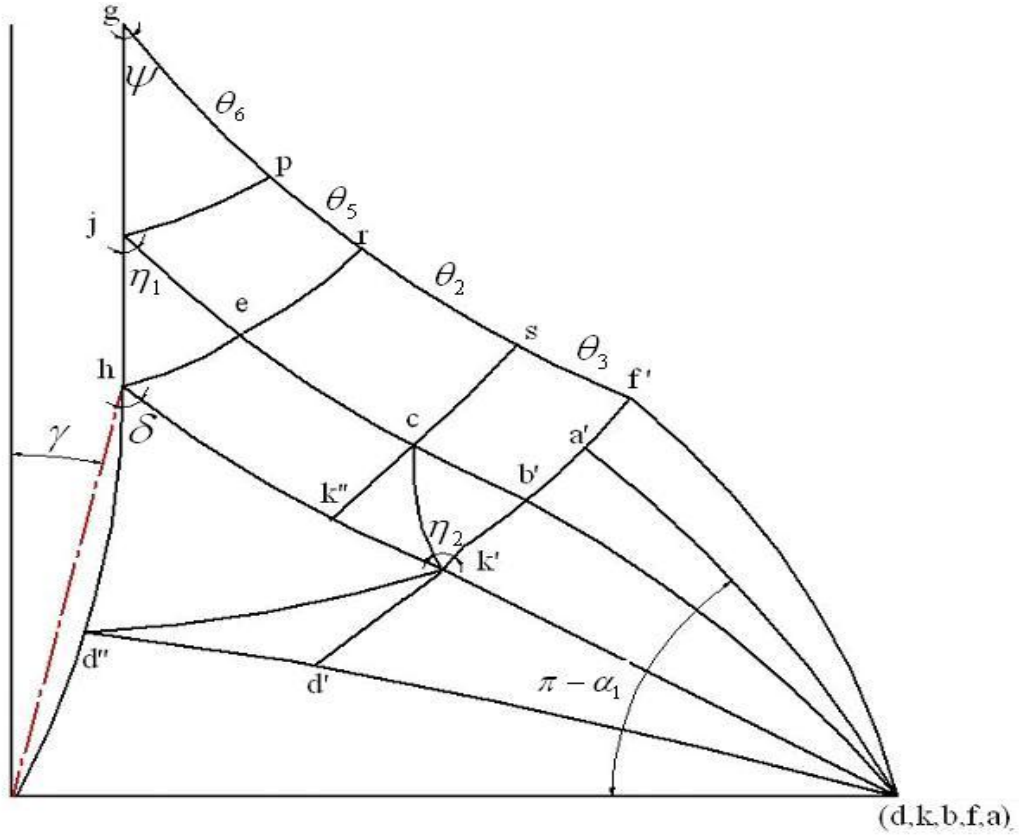
Kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma işleminin modellemesini yapabilmek için, önceki çalışmalar incelenip oluşabilecek bölgeler araştırılarak yeni bir kayma hattı modeli oluşturuldu. Yeni model, talaş yüzeyinin önünde ölü bölgeye sahip olup sekiz kayma hattı bölgesinden oluşmaktadır. Bölgelerden ikisi eğrisel üçgen bölgedir. Diğer üçgen bölgeler ise bir kenarı düz çizgi olan eğrisel üçgendir. Eğrisel dörtgen şekle sahip dört bölge mevcuttur.

Modellemede bazı temel kabuller yapılmıştır. Kabullerden ilki ortogonal talaş kaldırma kabulüdür. Ortogonal talaş kaldırma prosesi geometrik olarak en basit kesme modeli olup sıkça kullanılmaktadır. Bu prosesin basitliği, gerçek kesme işleminde oluşan talaş kaldırmayla ilgili diğer komplike geometrik etkilerin (eğim açısının etkisi v.b.) göz önüne alınmadığı temel etkiler (takım şeklinin etkisi, kaldırılan malzeme miktarı v.b.) hakkında çalışmayı sağlamasıdır. Diğer kabuller ise; iş parçası malzemesinin rijit plastik olduğu, oluşan kayma hattı bölge alanlarının rijit olup plastik deformasyon boyunca değişmediği ve kayma hattı bölgesi içinde statik kuvvet dengesinin sağlanmış olmasıdır.

Kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma için yapılan kayma hattı modelinde Dewhurst ve Collins'in (1973) oluşturduğu matris algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, kayma hattı problemlerinin çözümleri için uygulanmaktadır. Yeni modelin kayma hattı bölgeleri için açı bağıntıları ve ω açısal hızı için denklemler hodograf sayesinde belirlenebilmektedir. Kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırma içeren yeni kayma hattı modeli Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.7 ise ona bağlı hodograf görülmektedir.



Şekil 3.6 Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modeli



Şekil 3.7 Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı model için hodograf

Geliştirilen yeni modeldeki bölgeler;

- HKD bölgesi, takım önündeki ölü ve takım talaş yüzeyine komşu olan bölge.
- GPJ bölgesi, deforme olan talaş ile takım talaş yüzeyi arasındaki sürtünme koşullarını oluşturan takım talaş yüzeyine komşudur. Talaşın ayrıldığı nokta bu bölgededir.
- AF, talaşın kıvrılmasını sağlayan konveks kısım.
- JPRE, ERSC ve HECK eğrisel dörtgen bölgeleri GPJ bölgesi ile HKD ölü bölgesi arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır.
- JEH bölgesi, deforme olan talaş ile takım talaş yüzeyinin sürtünmesiyle oluşan bölgedir.
- CBK eğrisel üçgen bölgesi, kayma yüzeyi ile HECK eğrisel dörtgen bölgesi arasında teması sağlayan bölge.
- CSFB eğrisel dörtgen bölgesi, kayma yüzeyi ile ERSC bölgesi arasında teması sağlayan bölge.

Yeni kayma hattı modelin dört üçgen kayma hattı bölgesinde dört kayma hattı açısı tanımlanmıştır. Bu kayma hattı açıları;

- HKD üçgen bölgesindeki δ kayma hattı açısı
- JEH üçgen bölgesindeki η_1 kayma hattı açısı
- GPJ üçgen bölgesinde ψ kayma hattı açısı
- KCB üçgen bölgesinde η_2 kayma hattı açısıdır.

Diğer kayma hattı açıları ise eğrisel dörtgen bölgelerindeki doğruların açıları olup Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

3.2.2.1 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Yeni Kayma Hattı Modelinin Matematiksel Bağlantıları

Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinin matematiksel bağlantıları Dewhurst ve Collins'in (1973) matris algoritması kullanılarak yapıldı. Matematik modelde kullanılan G, P, P^*, Q, Q^*, R operatörleri Dewhurst ve Collins (1973) tarafından tanımlanan temel matris operatörleridir. Bu matris operatörleri 1978 yılında Dewhurst tarafından kullanılmıştır. Daha sonra özellikle önceki çalışmalar bölümünde belirtilen talaş kaldırma modellerinin çoğunda sıklıkla kullanılmıştır. Belirtilen matrisler ile ilk önce kayma hatları arası ilişkiler çıkarılır. Daha sonra açısız hızın ve α_1 açısının

belirlenmesi için yeni kayma hattı modeline ait hodograftaki bağlantılar çözülür. Kayma düzlemi boyunca aktarılan bileşke kuvvetin bağıntıları çıkarılır.

3.2.2.1.1 Modeldeki Kayma Hatları Arası İlişkiler

Modellemeyi yapabilmek JE, HK ve GP sırasıyla σ_1, σ_2 ve σ_3 vektörleri olarak tanımlandı.

GPJ bölgesindeki JP şu şekilde hesaplanır:

$$JP = \sigma_\psi \cdot \sigma_3 \quad (3.18)$$

σ_ψ şu şekilde yazılır:

$$\sigma_\psi = \left[Q_{\theta 6 \theta 6} + P_{\theta 6 \theta 6} (I \cdot \cos \psi - J \sin \psi)^{-1} \cdot (J \cos \psi - I \sin \psi) \right] \quad (3.19)$$

JPRE bölgesindeki RE, JE ve PR şu şekilde yazılır:

$$RE = JP + \rho \cdot c \quad (3.20)$$

RE şu şekilde de yazılabilir:

$$RE = P_{\psi \theta 5} \cdot JP - Q_{\theta 5 \psi} \cdot \sigma_1 \quad (3.21)$$

$$JE = P_{\psi \theta 5} \cdot RE + Q_{\theta 5 \psi} \cdot PR \quad (3.22)$$

$$PR = P_{\theta 5 \psi} \cdot \sigma_1 - Q_{\psi \theta 5} \cdot JP \quad (3.23)$$

Eşitlik (3.22) şu şekilde yazılır:

$$JE = P_{\psi \theta 5} \cdot (\sigma_\psi \cdot \sigma_3 + \rho \cdot c) + Q_{\theta 5 \psi} \cdot (P_{\theta 5 \psi} \cdot \sigma_1 - Q_{\psi \theta 5} \cdot JP) \quad (3.24)$$

σ_1 şu şekilde yazılabilir:

$$\sigma_1 = P_{\psi \theta 5} \cdot (\sigma_\psi \cdot \sigma_3 + \rho \cdot c) + Q_{\theta 5 \psi} \cdot P_{\theta 5 \psi} \cdot \sigma_1 - Q_{\theta 5 \psi} \cdot Q_{\psi \theta 5} \cdot \sigma_\psi \cdot \sigma_3 \quad (3.25)$$

σ_3, σ_1 cinsinden bulunur:

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_1 \cdot Q_{\theta 5 \psi} \cdot P_{\theta 5 \psi} - P_{\psi \theta 5} \cdot \rho \cdot c}{P_{\psi \theta 5} \cdot \sigma_\psi - Q_{\theta 5 \psi} \cdot Q_{\psi \theta 5} \cdot \sigma_\psi} \quad (3.26)$$

$$\sigma_\delta = \left[Q_{\theta 2 \theta 2} + P_{\theta 2 \theta 2} (I \cdot \cos \delta - J \sin \delta)^{-1} \cdot (J \cos \delta - I \sin \delta) \right] \quad (3.27)$$

HKD bölgesindeki DK şu şekilde yazılır:

$$DK = \sigma_\delta \cdot \sigma_2 \quad (3.28)$$

$$DK = \left[Q_{\theta 2 \theta 2} + P_{\theta 2 \theta 2} (I \cdot \cos \delta - J \sin \delta)^{-1} \cdot (J \cos \delta - I \sin \delta) \right] \cdot \sigma_2 \quad (3.29)$$

HECK bölgesindeki CK, HE ve CBK üçgen bölgesindeki BK şu şekilde yazılır:

$$CK = P_{\eta 1 \theta 2} \cdot HE - Q_{\theta 2 \eta 1} \cdot HK \quad (3.30)$$

$$KC = R_{\eta 2} \cdot CK \quad (3.31)$$

$$BK = P_{\eta 2}^* \cdot KC \quad (3.32)$$

$$HE = P_{\theta 5 \eta 1} \cdot CK + Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot EC \quad (3.33)$$

$$HE = \sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 \quad (3.34)$$

$$\sigma_{\eta_1} = \left[Q_{\theta 5 \theta 5} + P_{\theta 5 \theta 5} (I \cdot \cos \eta_1 - J \sin \eta_1)^{-1} \cdot (J \cos \eta_1 - I \sin \eta_1) \right] \quad (3.35)$$

$$CK = HE + \rho \cdot c = \sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 + \rho \cdot c \quad (3.36)$$

$$EC = P_{\theta 2 \eta 1} \cdot \sigma_2 - Q_{\eta 1 \theta 2} \cdot HE \quad (3.37)$$

Eşitlik (3.33) açılırsa:

$$HE = P_{\theta 5 \eta 1} \cdot (HE + \rho \cdot c) + Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot (P_{\theta 2 \eta 1} \cdot \sigma_2 - Q_{\eta 1 \theta 2} \cdot HE) \quad (3.38)$$

σ_2 şu şekilde bulunur:

$$\sigma_2 = \frac{HE + HE \cdot Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot Q_{\eta 1 \theta 2} - HE \cdot P_{\theta 5 \eta 1} - P_{\theta 5 \eta 1} \cdot \rho \cdot c}{Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot P_{\theta 2 \eta 1}} \quad (3.39)$$

HE yerine Eşitlik (3.34) yazılırsa σ_2 şu şekilde bulunur:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 + \sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 \cdot Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot Q_{\eta 1 \theta 2} - \sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 \cdot P_{\theta 5 \eta 1} - P_{\theta 5 \eta 1} \cdot \rho \cdot c}{Q_{\eta 1 \theta 5} \cdot P_{\theta 2 \eta 1}} \quad (3.40)$$

CSFB eğrisel dörtgen bölgesindeki FB, SC ve CB şu şekilde yazılır:

$$FB = P_{\psi \eta 2} \cdot SC - Q_{\eta 2 \psi} \cdot CB \quad (3.41)$$

$$SC = JP + \rho \cdot c \quad (3.42)$$

$$CB = Q_{\eta 1 \eta 2} \cdot CK \quad (3.43)$$

Eşitlik (3.36) Eşitlik (3.43)'de yerine koyulursa

$$CB = Q_{\eta 1 \eta 2} \cdot (\sigma_{\eta} \cdot \sigma_1 + \rho \cdot c) \quad (3.44)$$

$$FB = P_{\psi \eta 2} \cdot \sigma_{\psi} \cdot \sigma_3 + P_{\psi \eta 2} \cdot \rho \cdot c - Q_{\eta 2 \psi} \cdot Q_{\eta 1 \eta 2} \cdot \sigma_{\eta 1} \cdot \sigma_1 - Q_{\eta 2 \psi} \cdot \rho \cdot c \quad (3.45)$$

3.2.2.1.2 Hodograftaki Kayma Hatları Arası İlişkiler

Şekil 3.7'deki hodograf ile şu denklemler elde edilir;

$$gp = \omega \cdot \sigma_3 \quad (3.46)$$

$$gp = \sigma_\psi \cdot jp \quad (3.47)$$

$$jp = P_{\psi\theta 3} \cdot b'f' - Q_{\theta 6\psi} \cdot pr \quad (3.48)$$

Eşitlik (3.48) için

$$b'f' = \rho \cdot c \quad (3.49)$$

$$pr = \omega \cdot PR \quad (3.50)$$

Eşitlik (3.23)'de PR değeri belirtilmiştir. Eşitlik (3.50) PR değeri yerine konularak çözülür. Eşitlik (3.46) ile (3.47) eşitlenerek ω 'in çözümü için Eşitlik (3.52) elde edilir.

$$\omega \cdot \sigma_3 = \sigma_\psi \cdot jp \quad (3.51)$$

$$\omega = \frac{\sigma_\psi \cdot jp}{\sigma_3} \quad (3.52)$$

$b'f'$ değeri Eşitlik (3.49), pr değeri Eşitlik (3.50) verilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak Eşitlik (3.48) aşağıdaki eşitlik halini alır.

$$jp = P_{\psi\theta 6} \cdot \rho \cdot c - Q_{\theta 6\psi} \cdot \omega \cdot (P_{\theta 5\psi} \cdot \sigma_1 - Q_{\psi\theta 5} \cdot \sigma_3 \cdot \sigma_\psi) \quad (3.53)$$

Eşitlik (3.53) kullanılarak Eşitlik (3.47) çözülür. Eşitlik (3.52) jp değeri yerine konularak çözülür ve ω aşağıdaki eşitlikteki gibi elde edilir.

$$\omega = \frac{\sigma_\psi \cdot P_{\psi\theta 6} \cdot \rho \cdot c}{\sigma_3 \cdot (1 + \sigma_\psi \cdot Q_{\theta 6\psi} \cdot P_{\theta 5\psi} \cdot \sigma_1 - \sigma_\psi \cdot Q_{\theta 6\psi} \cdot \omega \cdot Q_{\psi\theta 5} \cdot \sigma_\psi \cdot \sigma_3)} \quad (3.54)$$

bulunur.

3.2.2.2 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takımlar İçin Bileşke Kuvvetin Hesabı

Eğer kuvvet DK, BK, FB ve AF boyunca iletiliyorsa

$$\frac{F}{kt_1 w} = \frac{F_{AF}}{kt_1 w} + \frac{F_{FB}}{kt_1 w} + \frac{F_{BK}}{kt_1 w} + \frac{F_{KD}}{kt_1 w} \quad (3.55)$$

şeklinde yazılır. Burada;

$$AF = \left(\frac{\rho}{\omega} \right) c \quad (3.56)$$

olarak alınır. Takım talaş arasındaki sürtünme açısı yani ölü bölgenin $K\hat{H}D$ açısı şöyle tanımlanır;

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{\tau}{k} \right) \quad (3.57)$$

Kayma hattı modellemesi için P_A/k ve τ/k değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. P_A hidrostatik basınç, k akma gerilmesi, τ ise kayma gerilmesini belirtir. Yeni kayma hattı modeli için kabul edilen değerler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Kesici ağız yarıçapına göre δ ve τ/k değerleri ($\gamma=0^\circ$)

r (yarıçap)	0	50 μm	100 μm	150 μm
τ/k	1	0,95	0,94	0,93
δ	0°	9°	10°	11°

Çizelge 3.4 Kesici ağız yarıçapına göre δ ve τ/k değerleri ($\gamma=6^\circ$)

r (yarıçap)	0	50 μm	100 μm	150 μm
τ/k	1	0,96	0,95	0,94
δ	0°	8°	9°	10°

P_A/k değerinin kesici ağız yarıçapına göre değişimi için Çizelge 3.5 ve 3.6’daki değerler alınmıştır.

Çizelge 3.5 Kesici ağız yarıçapına göre P_A/k değeri ($\gamma=0^\circ$)

r (yarıçap)	50 μm	100 μm	150 μm
P_A/k	0,85	0,87	0,90

Çizelge 3.6 Kesici ağız yarıçapına göre $\frac{P_A}{k}$ değeri ($\gamma=6^\circ$)

r (yarıçap)	50 μm	100 μm	150 μm
$\frac{P_A}{k}$	0,80	0,82	0,85

Buna göre $\frac{\tau}{k}$ değeri kesici ağız yarıçapı arttıkça azalır, $\frac{P_A}{k}$ değeri kesici ağız yarıçapı arttıkça artar. Şekil 3.7'deki yeni kayma hattı modeli için oluşturulan hodograftan α_1 şu şekilde belirlenir.

$$\alpha_1 = \pi + \eta_2 + \theta_7 - \gamma - \delta - \theta_1 - \theta_3 - \theta_4 \quad (3.58)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinin uygulanması için, negatif talaş açısının ölü bölge, kesme kuvvetlerine ve radyal kuvvetlere etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Aynı deneyler kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma için de yapılmıştır. Çabuk duruş ile bir anlık talaş, iş parçası malzemesi, kayma bölgesi ve ölü bölge incelendi. Deneysel çalışmalarda kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takımlar, deney ekipmanı, talaş kaldırma şartları ve deneyin uygulanışı bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.1 İş Parçası Malzemesi

Talaş kaldırmada işleminde pirinç malzeme tercih edilmiştir. Pirinçlerin en önemli özellikleri, atmosferik korozyona dirençli olması, sıcak ve soğuk şekillendirilebilmesi, derin çekilmeye, sıcak dövülmeye ve preslenmeye uygunluğu ve kolay lehimlenme özelliğine sahip olmalarıdır. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi CuZn30 α pirincidir. α pirinçleri genellikle soğuk şekillendirilmiş olarak satışa sunulmaktadır.

Kountanya ve Endres (2001) pirinç ile talaş kaldırma işleminde ölü bölgenin oluştuğunu, yığma ağzın oluşmadığını belirtmişler ve oluşan ölü bölgenin çinkonun talaş kaldırılmasından daha büyük olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca ön deneylerde yığma ağzı oluşumu görülmediği için pirinç iş parçası malzemesi tercih edildi.

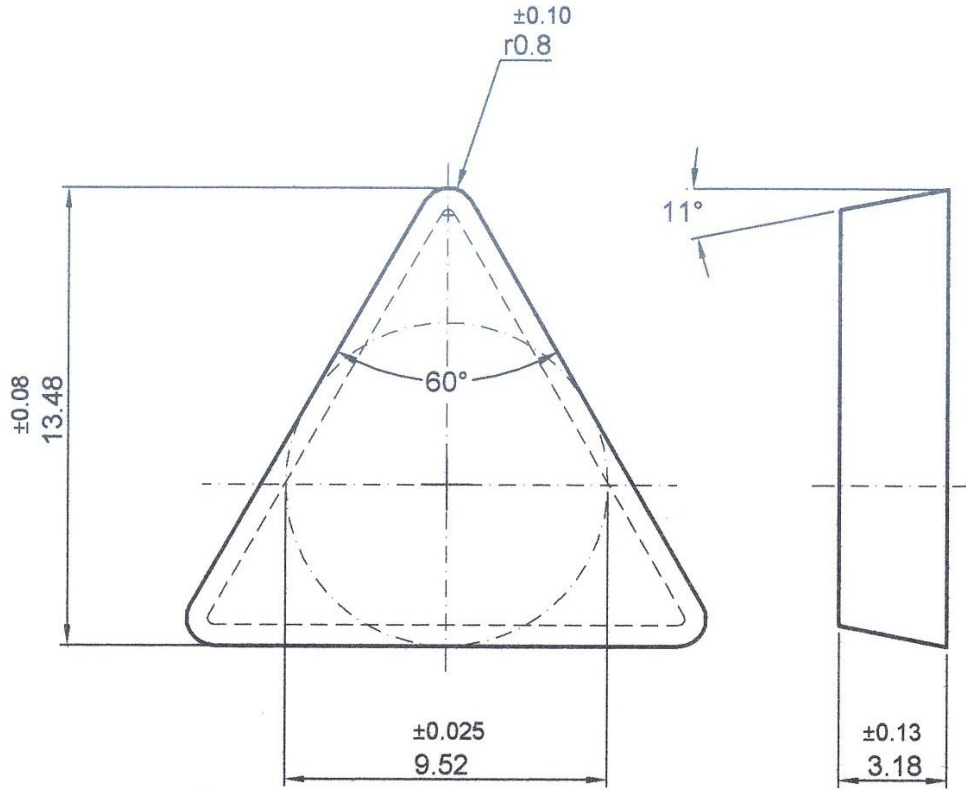
Çizelge 4.1’de deneyde kullanılan iş parçası malzemesinin spesifikasyonu verilmiştir. İş parçası malzemeleri 32 x 30 x1,5 mm boyutlarında hazırlandı.

Çizelge 4. 1 Deneylerde kullanılan iş parçası malzemesinin spesifikasyonu

Cinsi	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	P
CuZn30	69,809	30,138	0,0029	0,005	0,0219	0,0019
ÖLÇÜLEN DEĞERLER						
Sertlik (HV)	Çekme dayanımı (N/mm ²)			Uzama (%)		
70	332			53		

4.2 Kesici Takımlar

Yapılan deneylerde TPGN 160308 kesici takım ucu kullanılmıştır. Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait deneylerde kullanılan kesici takım ucunda kesici ağız yarıçapı yoktur. Şekil 4.1’de teknik resmi görülmektedir. Kesici takım ucu mekanik sıkmalı olarak kater üzerine takılmaktadır. Kesici takım boşluk açısı 11° ’dir.



Şekil 4.1 TPGN 160308 kodlu takım ucunun teknik resmi

Kesici ağız yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırma deneylerinde ise üç farklı takım uçları kullanılmıştır. Bunlar; TPGN 160308–005, TPGN 160308–010, TPGN 160308–015. Kesici ağız yarıçapları sırasıyla 50 μm , 100 μm , 150 μm ’dir.

Kesici takım ucu kater üzerine mekanik sıkmalı olarak bağlanmıştır. Kater boyu gerinim ölçerler ile uygun ölçüde tasarlanmıştır. Kesici takımların bağlanması için altlık, baskı pabucu, baskı vidası ve pim mevcuttur. Kesici takım Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Kesici takım

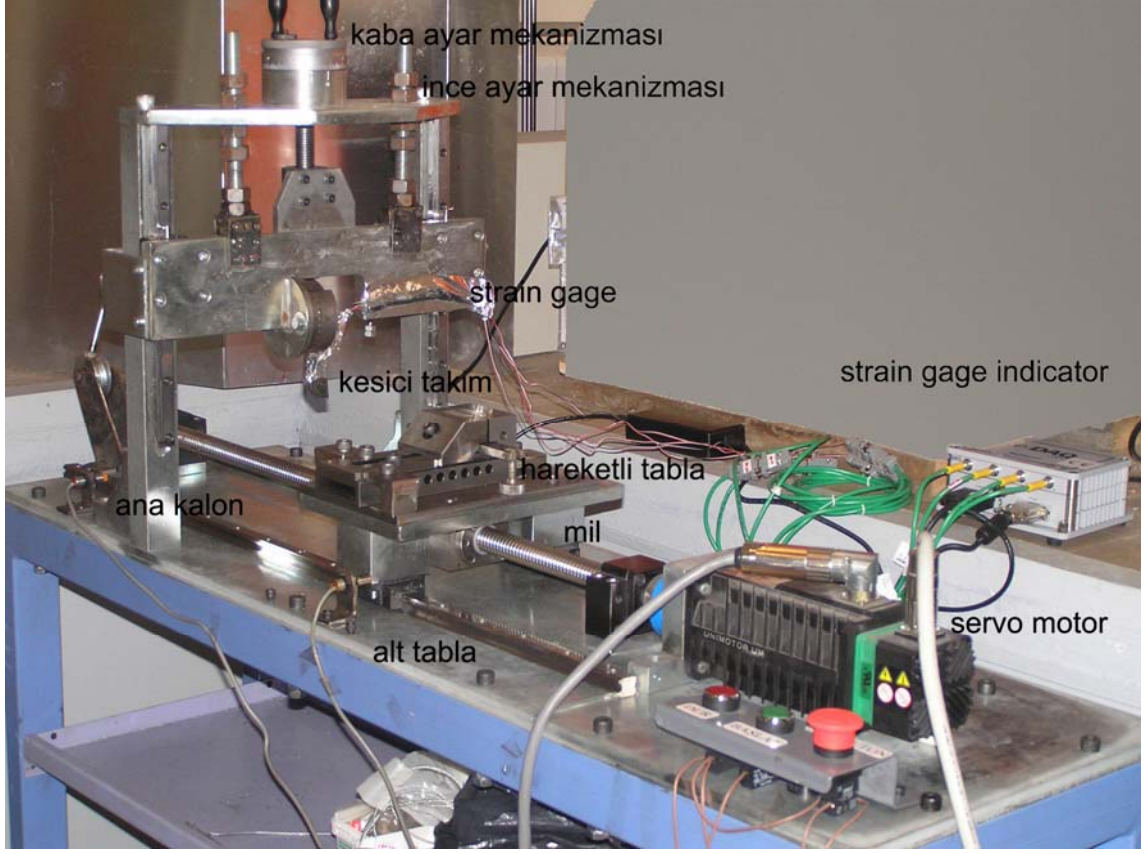
Kesici ağız yuvarlatılmış takımların ölçü kontrolleri Böhler Sert Maden firması tarafından yapılmıştır. Kesici ağız yarıçapı ölçümlerinde Mitutoyo Conturpark cihazı kullanılmıştır.

4.3 Deney Ekipmanı

Talaş kaldırma sırasında oluşan malzemenin plastik deformasyonunun, takım – talaş ara yüzündeki deformasyonun ve takım ucundaki oluşumların incelenebilmesi için Ani Durdurma Cihazının (ADC) kullanılması gerekir. Genel anlamda ani durdurma cihazları, talaşın oluşmaya başladığı an ile iş parçasından koptuğu an arasındaki kısa zaman aralığında talaş kaldırma işlemini durdurarak talaş oluşum numunelerinin elde edilmesini sağlayan mekanizmalardır. Bu cihazlar kuvvet ölçümü yapılabilmekte, farklı kesme hızlarında ve kesme derinliklerinde çalışabilmektedir. Ani duruş işlemi için gerekli duruş mesafesi ve kesme hızı bilgisayar kontrolüyle gerçekleştirilmektedir.

Planyalama esaslı talaş kaldıran bilgisayar kontrollü ani duruş cihazı tasarlanıp imal edildi. Tasarlanan ve imalatı tamamlanan planyalama esaslı talaş kaldıran ani duruş cihazı Şekil

4.3’de görülmektedir. İmal edilen cihaz daha önce literatürde rastlanmamış özgün bir cihazdır. Ani duruş için gerekli durma zamanının, kesme mesafesinin ve kesme hızının cihazın çalışma değer sınırları içinde ayarı yapılabilmektedir.



Şekil 4.3 Planyalama esaslı talaş kaldıran ani duruş cihazı

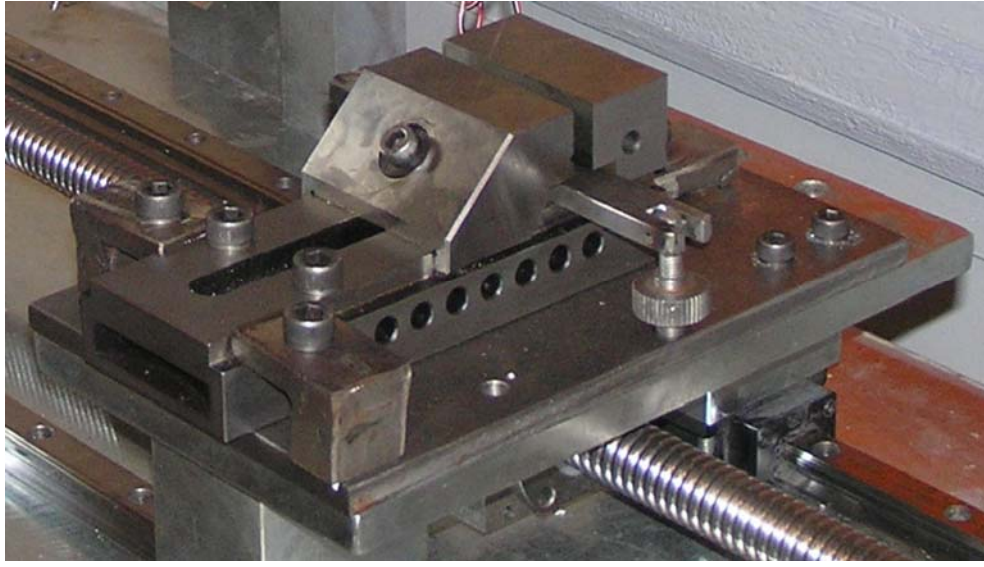
Çalışmalar farklı talaş açısı değerlerinde gerçekleştirildi. Bunun için kalemi döndürecek kalemlik tasarlandı. Tasarlanan kalemlikte 36 adet diş vardır. Bu sayede kalemlik üzerindeki takım 0° - 360° arasında 10° ’lik aralıklarla 36 farklı konum alabilmektedir.

Cihazın kesme hareketini sağlamak için SFU 25–05 vidalı mil somunu ve SCR 25-05X1000 mm vidalı mil kullanılmıştır. Vidalı mil somunu DIN 69051 FORM B’ye uygundur.

Tasarlanan cihazda iki ana hareket vardır. Bunlar tek eksende kesme hareketi ve hassas kesme derinliği hareketidir. İmal edilen cihaz yük altında sabit bir kesme hızı sağlamaktadır. Cihaz ile pirinç malzeme için işlenebilecek maksimum talaş kalınlığı 2 mm, maksimum talaş genişliği 1,5 mm’dir. Tasarlanan cihaz 17,5 m/dak’ya kadar kesme hızına ulaşabilmektedir. Kesme hızı (hareketli tablanın ilerleme hızı) değeri bilgisayardaki yazılımla girilmektedir.

Duruş süresi ise 0,01 sn'dir. Çalışmaların sağlıklı yapılabilmesi için bir referans noktası tanımlanmıştır.

İş parçası malzemesi mengene ile sıkılmaktadır. Mengene malzemeyi ence sıkıldığında deformasyonlar yaşanabilir. Bu yüzden iş parçası malzemesini iki yüzeyden boyca sıkın mengene tasarlanıp imal edildi. Mengene Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Tasarlanıp imal edilen mengene

Şekil 4.2'de görülen planyalama esaslı talaş kaldıran cihazda iki adet switch mevcuttur, bunlardan birisi başlangıç pozisyonunu belirlemek diğeri ise emniyet için konmuştur. Yazılan PLC programı sayesinde tek eksenle kesme hareketinin hem hızı hem de kesme mesafesi önceden ayarlanabilmektedir. Emniyet açısından bilgisayarla girilen değerlerden sonra butona basılarak işlem yapılabilmektedir. CT programına kesme hızı, kesme mesafesi girildikten sonra ilk hareketi vermek için çalıştırma butonuna basılır; tezgah girilen kesme mesafesine kadar gider ve durur. Tabla otomatik olarak tabla durmakta, geri gelmesi için diğeri geri dönüş butonuna basılması gerekmektedir.

Kullanılan AC servo motor flanşlı bağlantılıdır. Maksimum devir sayısı 3000 rpm (dev/dak), enkoderli, 1,13 kw gücünde ve 3,6 Nm momente sahiptir. Tezgah vidalı mili istenilen pozisyonda durabilmesi için uygulama modülü programı kullanılmaktadır. Servo sürücü kontrolü bilgisayar tarafından yapılmakta ve datalar bilgisayar ortamında görülmektedir.

Kesme derinliği verebilmek ve iş parçasının paralelliğini sağlamak için dijital komperatör kullanılmıştır. Komperatörün sabitlenebilmesi için demir esaslı düz veya silindirik yüzeylerde magnetik esaslı tutunabilen ve ince konum ayarı yapılabilen komperatör ayağı kullanıldı. Ölçme boyu aralığı (0-12,7) mm, çözünürlüğü 0,001 mm olan Mitutoyo 543-450 B marka dijital komperatör seçildi. şekil 4.5’de dijital komperatör görölmektedir.



şekil 4.5 Dijital komperatör

Servo sürücü, RS 485 ile bağlantı kuran, servo motora uyumlu, pozisyon ve hız kontrolü yapabilen CT markadır.

Çeyrek wheatsone köprüsüne uygun tek eksenli 4 adet gerinim ölçer kullanıldı. Kuvvet ölçümü için katerin dört tarafına gerinim ölçer yapıştırıldı. Gerinim ölçer indikatorü 4 kanal girişli, RS 232 ile iletişim kuran eDAQ–lite markadır. Veri almak, kanal ayarlarını yapmak, gerinim ölçerleri tanımlamak için CE eDAQ V3.8.6a yazılım programı kullanıldı. Bu program sayesinde gerinim ölçerler tanımlanabilmekte, seçilen köprü tipine göre hesaplamalar yapılabilmekte ve kaydedilmiş test ayarlarına göre veri alımı sağlanmaktadır.

Elde edilen gerinim ölçer grafik değerlerini okuyabilmek için .sif formatındaki dosyaları okuyabilen InField 1.6.2 yazılım programı kullanıldı. Yazılım sayesinde zamana göre değişim grafiklerinin görünümü sağlanmaktadır. Ölçüm değerlerinin doğruluğu için kablo bağlantıları soketli hale getirildi. Bu sayede gerilim değerindeki dalgalanmalar ve hatalı ölçüm olasılığı sıfıra indirildi. Kaydedilen dosyaları incelemek için Somat firmasının yazmış olduğu InField programından faydalanıldı.

Talaş kaldırma işlemi tamamlanmış iş parçalarının mikroskopta incelenebilmesi için polyester içine gömülüp zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapıldı. Zımparalama ve parlatma işleminde kullanılan makineler Metaserv 2000 grinder/polisher machine olup Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6 Zımparalama ve Parlatma makineleri

Dağlama yapılan numunelerin incelenmesi invert tip monoküler başlıklı 10, 40, 100 kat büyütme kapasiteli 3 adet büyütme objektifi olan C-mount adaptör ve video okülere sahip XJP-2 model mikroskop ile yapıldı. Ayrıca görüntü aktarımı için 5 megapiksel çözünürlüğe sahip Ogatech OG 5110 dijital fotoğraf makinesi ve görüntü transferi için Image Analysis yazılım programı kullanıldı. Mikroskop 10x odaklanabilir ölçü oküleri, tabla mikrometresi, 0.65x video oküleri, C-mount Video kamera sistemine sahiptir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Video okülere sahip XJP-2 model mikroskop ve bilgisayar

Elde edilen numuneler mikroskop ile incelendikten sonra, dış etkilerden korumak için desikatör içinde saklanmıştır.

4.4 Talaş Kaldırma Şartları ve Deneyin Uygulanışı

Kesici ağzı yuvarlatılmış ve negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinin uygulanması, negatif talaş açısı ve kesici ağız yarıçapının ölü bölge, kesme kuvvetlerine ve radyal kuvvetlere etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar belli talaş kaldırma şartlarında gerçekleştirildi. Deney şartları iki kısımda ele alınır.

1. Negatif talaş açılı takımlar için talaş kaldırma işlemleri 0,25 m/dak, 0,50 m/dak, 0,75 m/dak kesme hızı aralığında 50 μm , 100 μm , 150 μm kesme derinliklerinde gerçekleştirildi. Kesici takım serbest açısı 11° dir. İş parçası malzemesi CuZn30 Pirinç malzemedir. Talaş açısı sırasıyla 0° , -10° , -20° , -30° , -40° , -50° , -60° ve -70° olarak uygulanmıştır.
2. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için yarıçap 50 μm , 100 μm , 150 μm olarak seçildi. Talaş kaldırma işlemleri 0,25 m/dak, 0,50 m/dak, 0,75 m/dak kesme hızlarında, 50

μm , 100 μm , 150 μm kesme derinliklerinde gerçekleştirildi. İş parçası malzemesi CuZn30 olup kesici takım serbest açısı 11° 'dir. Talaş açısı sırasıyla 0° ve 6° olarak uygulandı.

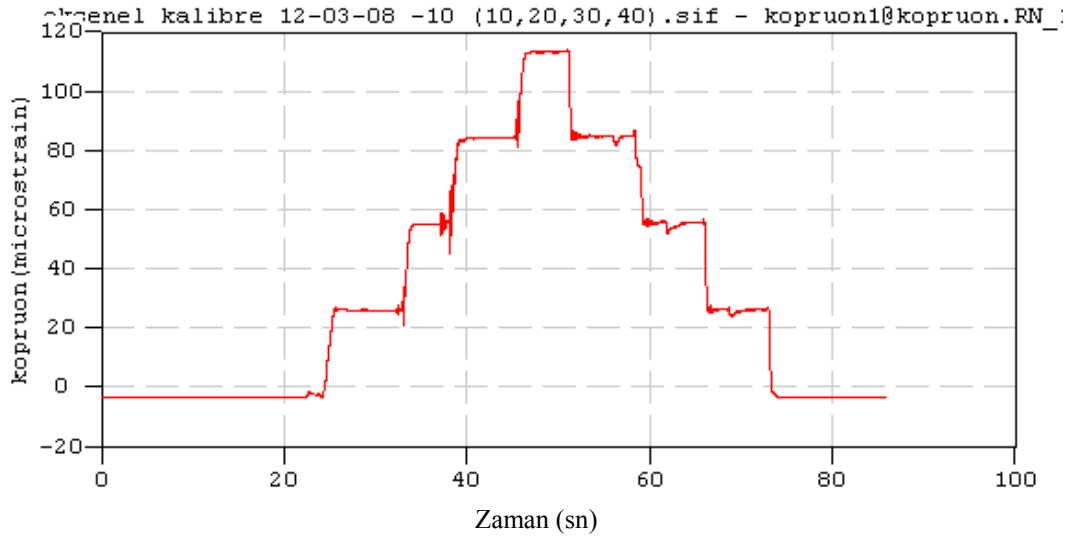
Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için planyalama esaslı bilgisayar kontrollü ani duruş cihazında ön deneyler gerçekleştirildi. Ön deneylerle tezgahın çalışma sistemi, ani duruş için gerekli ölçüm değerleri, kesme derinliği, kesme hızı, kuvvet ölçümü ve kalibrasyon değerleri kontrol edildi. Ön deneylerdeki deneysel çalışmalar, yukarıdaki bölümlerde belirtildiği gibi iki kısımda incelenecektir. Bu kısımların birincisi negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma uygulamaları, ikinci ise kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma uygulamalarıdır.

4.4.1 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Uygulama

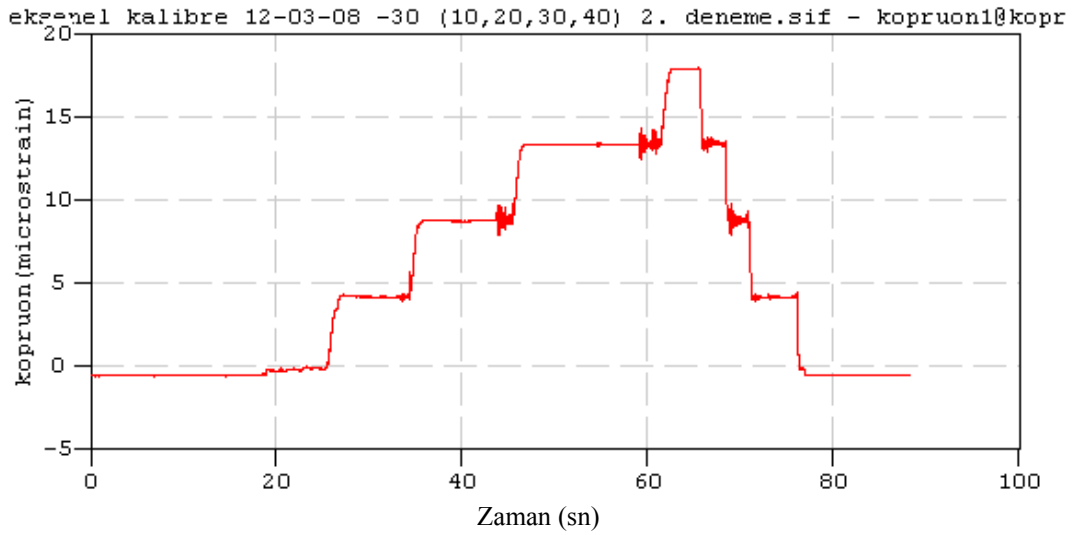
Deneyler iki ana grupta gerçekleştirildi. Birincisi yukarıda belirtilen talaş kaldırma şartları altında kuvvet ölçümlerinin yapılması ikincisi ise ani duruş yapılarak malzeme numunelerinin alınarak incelenmesidir.

Radyal kuvvetleri ve kesme kuvvetlerini ölçmek için, gerinim ölçer indikatörü ile ölçülen mikrostrain değerleri kullanıldı. Kesici takımın sağında, önünde ve arkasında bulunan gerinim ölçerlerden mikrostrain gerinme değerleri alınarak ve bu değerlerden kuvvete geçilmektedir. Fakat mikrostrain değerlerinden kuvvet değerlerine geçebilmek için kalibrasyon yapmak gereklidir.

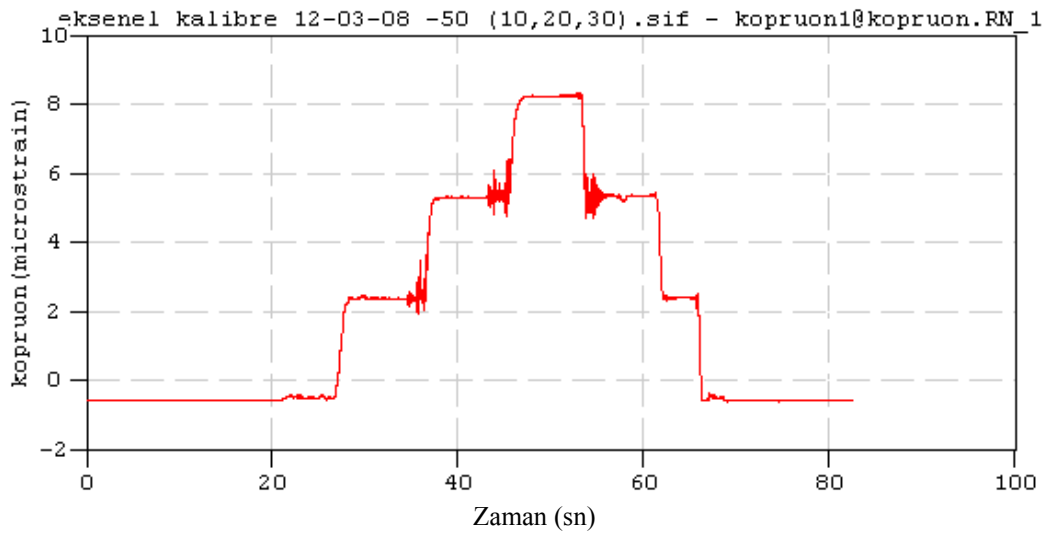
Kalibrasyon için ilk olarak 10 kg, 20 kg ve 30 kg kalibre edilmiş ağırlıklar asılarak kesme kuvveti için mikrostrain değerleri alındı. Aynı şekilde farklı aparat kullanılarak 10 kg, 20 kg ve 30 kg kalibre edilmiş ağırlıklar asılarak radyal kuvvet için kalibrasyon yapıldı. Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11'de kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimleri $\gamma = -10^\circ$, -30° , -50° ve -70° için verilmiştir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'de radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimleri sırasıyla $\gamma = -20^\circ$, -40° ve -60° için verilmiştir.



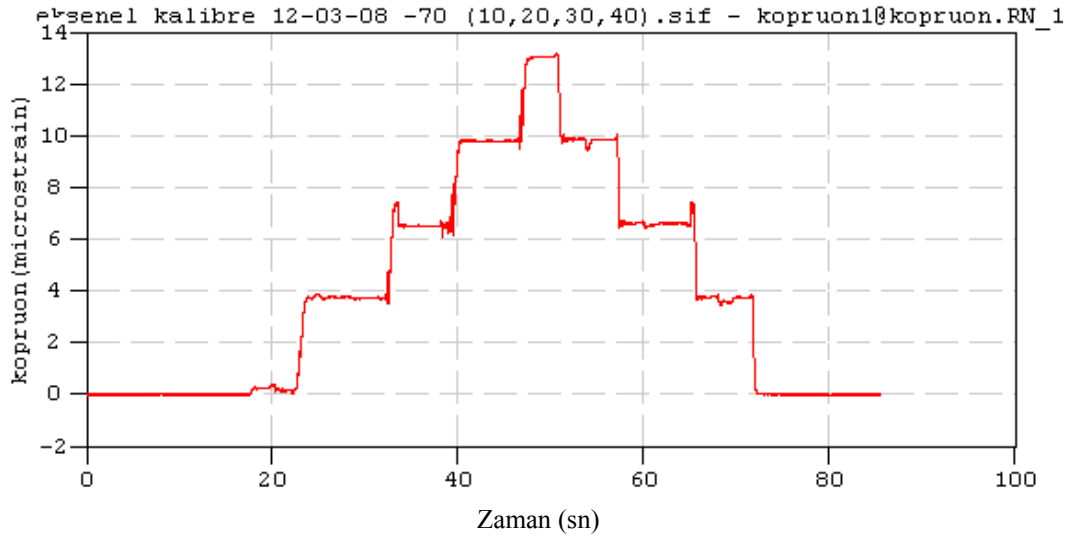
Şekil 4.8 Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma=-10^\circ$)



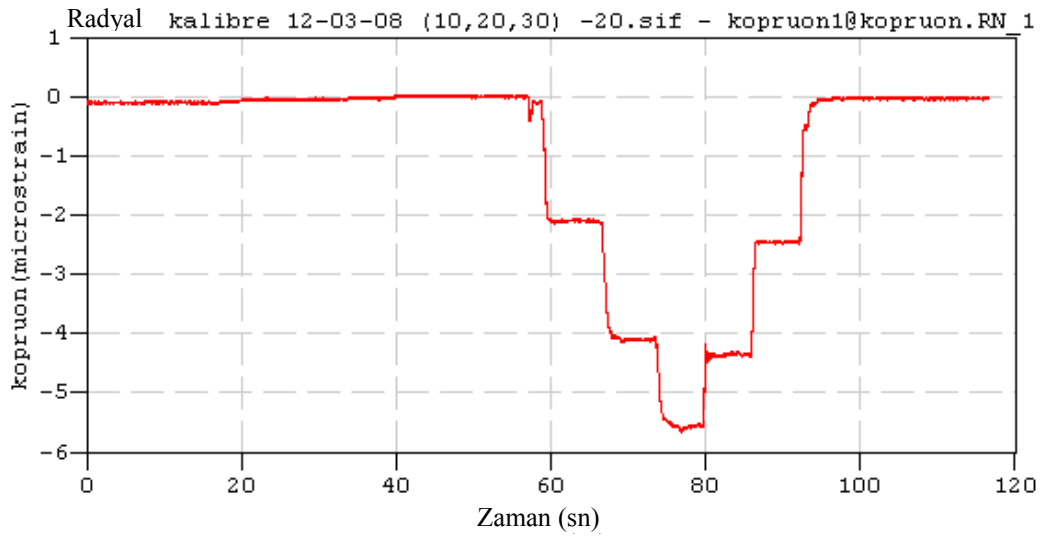
Şekil 4.9 Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma=-30^\circ$)



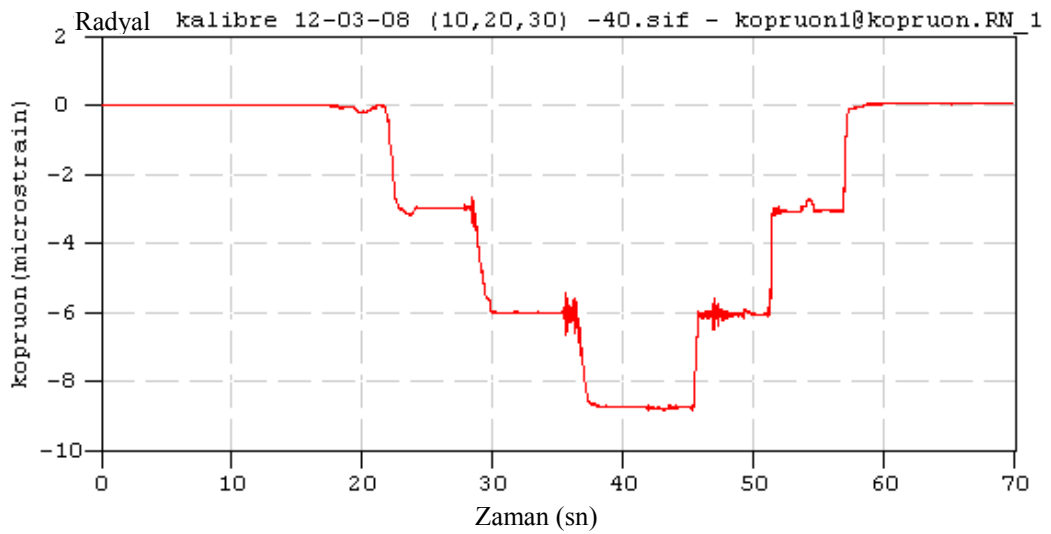
Şekil 4.10 Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma=-50^\circ$)



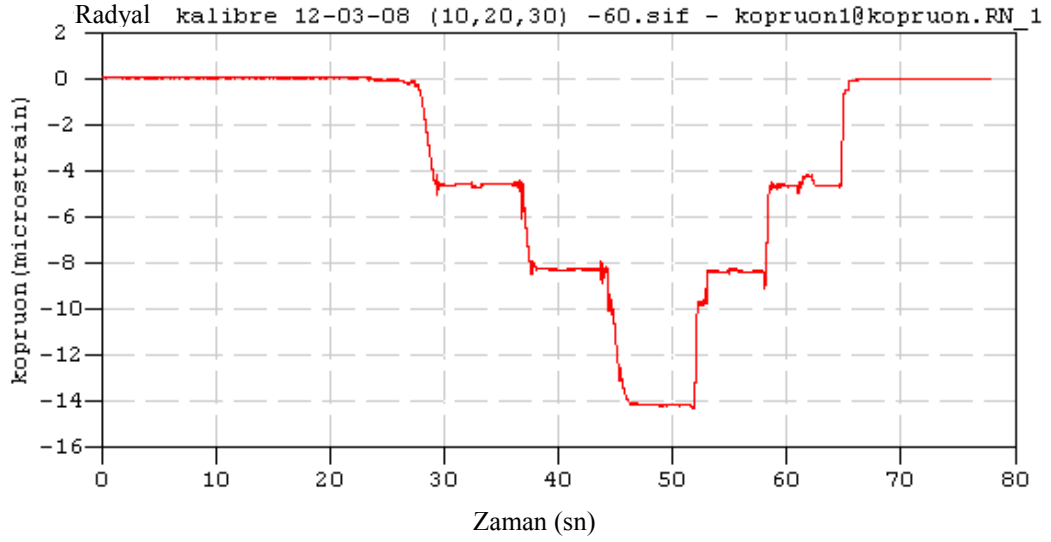
Şekil 4.11 Kesme kuvveti kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma = -70^\circ$)



Şekil 4.12 Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma = -20^\circ$)



Şekil 4.13 Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma = -40^\circ$)



Şekil 4.14 Radyal kuvvet kalibrasyonu için zamana göre mikrostrain değişimi ($\gamma = -60^\circ$)

Mikrostrain değerleri hem kesme kuvveti hem de radyal kuvvet etkilerini içerdiğinden kuvvet değerlerini bulmak için denklemler kullanılmaktadır. Mikrostrain kalibrasyon değerleri talaş açısı 0° , -10° , -20° , -30° , -40° , -50° , -60° ve -70° için farklı olduğundan her bir açı değeri için ayrı bağıntı gerekmektedir. Kalibrasyonla elde edilen zaman mikrostrain eğrisinin denklemi bulunup kuvvet değerlerine geçmek için Math Cad programından faydalanıldı. Denklemler sayesinde herhangi bir talaş açısındaki mikrostrain değerleri için kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler bulunabilmektedir.

Çizelge 4.2’de negatif talaş açılı takım ile yapılan 48 deneyin deney şartları belirtilmiştir. Çizelgede deney numarası, kesme hızı, negatif talaş açısı ve kesme derinliği değerleri görülmektedir. Bu deneyler sadece kesme kuvveti ve radyal kuvvet ölçümü için kullanılmıştır. Ani duruş için yapılan deneyler çizelgede mevcut değildir. Ani duruş ile yapılan deneyler tüm kesme kuvveti ve radyal kuvvet belirlenmesi için kullanılan deney şartları altında yapılmıştır.

Çizelge 4.2 Negatif talaş açılı takım ile yapılan deneyler (kesici takım TPGN 160308; malzeme CuZn30)

DENEY NUMARASI	KESME HIZI (m/dak)	NEGATİF TALAŞ AÇISI (°)	KESME DERİNLİĞİ (μm)
N001	0,5	0°	100
N002	0,25	0°	100
N003	0,75	0°	100
N004	0,75	0°	50
N005	0,5	0°	50
N006	0,25	0°	50
N007	0,5	0°	150
N008	0,25	0°	150
N009	0,75	0°	150
N010	0,5	-10°	100
N011	0,5	-10°	100
N012	0,5	-10°	100
N013	0,25	-10°	50
N014	0,75	-10°	50
N015	0,75	-10°	50
N016	0,25	-10°	150
N017	0,75	-10°	150
N018	0,25	-10°	150
N019	0,75	-30°	100
N020	0,5	-30°	100
N021	0,25	-30°	100
N022	0,25	-30°	50
N023	0,5	-30°	50
N024	0,75	-30°	50
N025	0,75	-30°	150
N026	0,5	-30°	150
N027	0,25	-30°	150
N028	0,75	-50°	100
N029	0,5	-50°	100
N030	0,25	-50°	100

DENEY NUMARASI	KESME HIZI (m/dak)	NEGATİF TALAŞ AÇISI (°)	KESME DERİNLİĞİ (µm)
N031	0,25	-50°	50
N032	0,5	-50°	50
N033	0,75	-50°	50
N034	0,75	-50°	150
N035	0,5	-50°	150
N036	0,25	-50°	150
N037	0,5	-20°	50
N038	0,5	-20°	100
N039	0,5	-20°	150
N040	0,5	-40°	50
N041	0,5	-40°	100
N042	0,5	-40°	150
N043	0,5	-60°	50
N044	0,5	-60°	100
N045	0,5	-60°	150
N046	0,5	-70°	50
N047	0,5	-70°	100
N048	0,5	-70°	150

Yukarıda şartları belirtilen deneyler ile kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler ölçülmüştür. Ani duruş yapılan iş parçalarının mikroskopta incelenebilmesi için talaş oluşan kısım kesilerek polyester içine gömüldü. Kalıp içinden çıkarılan numuneler yaklaşık 400 dev/dak ile ıslak zımparalama yapıldı. Zımparalama işleminde P240, P400, P600,P800 ve P1200 zımparalar sırası ile kullanıldı. Parlatma işlemi 6, 3 ve 1 µm elmas parlatma pastası ile yapıldı. Mikro dağlama işlemi Çizelge 4.3’de bileşenleri belirtilen çözelti ile yapıldı. Dağlama işlemi numunenin rengi değişene kadar yapılmıştır.

Çizelge 4. 3 Hazırlanan dağlama çözeltisi bileşenleri (ASM Vol. 9)

Dağlama yapılacak Malzeme	Dağlama Reaktifi	Miktar
CuZn30	Saf su	100 ml
	Etanol	96 ml
	Demir (III) Klorür	59 gr

Mikroskop ile hazırlanan numuneler için bir anlık talaş, iş parçası malzemesi, kayma bölgesi ve ölü bölge incelendi.

4.4.2 Kesici Ağız Yuvarlatılmış Takımlar İçin Uygulama

Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile deneyler iki ana grupta gerçekleştirildi. Birincisi ani duruş yapılarak malzeme numunelerinin incelenmesi ikincisi ise Bölüm 4.4’de belirtilen talaş kaldırma şartları altında kuvvet ölçümünün yapılmasıdır. Talaş kaldırma esnasında meydana gelen radyal kuvvetleri ve kesme kuvvetlerini doğru şekilde ölçmek için kalibrasyon bir önceki bölümde anlatıldığı gibi yapıldı. Negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırma deneyleri için kullanılan kalibrasyon değerleri ve kalibrasyon eğrisinden kuvvet değerine geçmek için yazılan Math Cad programı kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için de kullanıldı. Bulunan denklemler sayesinde herhangi bir talaş açısındaki mikrostrain değerleri için kesme kuvveti ve radyal kuvvet bulunabilmektedir.

Çizelge 4.4’de kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile yapılan 54 deneyin deney şartları belirtilmiştir. Çizelge sayesinde kullanılan deney numarası, kesici takım, kesme hızı, pozitif talaş açısı, kesme derinliği ve kesici ağız yarıçapı görülmektedir. Belirtilen şartlar kesme kuvveti ve radyal kuvvet ölçümlerinin yapıldığı deneyler için geçerlidir. Eşkenar üçgen geometriye sahip kesici takım uçları deneyler sırasında aşınma etkilerinden arınmak her üç kenarı en fazla iki kere talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Aynı şartlarda ani duruş deneyleri de uygulanmıştır.

Çizelge 4.4 Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile yapılan deneyler (malzeme CuZn30)

DENEY NUMARASI	KESİCİ TAKIM	KESME HIZI (m/dak)	POZİTİF TALAŞ AÇISI (°)	KESME DERİNLİĞİ (μm)	KESİCİ AĞIZ YARIÇAPI (μm)
RO01	TPGN 160308-005	0,25	0°	50	50
RO02	TPGN 160308-005	0,5	0°	50	50
RO03	TPGN 160308-005	0,75	0°	50	50
RO04	TPGN 160308-005	0,25	0°	100	50
RO05	TPGN 160308-005	0,5	0°	100	50
RO06	TPGN 160308-005	0,75	0°	100	50
RO07	TPGN 160308-005	0,25	0°	150	50
RO08	TPGN 160308-005	0,5	0°	150	50
RO09	TPGN 160308-005	0,75	0°	150	50
RO10	TPGN 160308-010	0,25	0°	50	100
RO11	TPGN 160308-010	0,5	0°	50	100
RO12	TPGN 160308-010	0,75	0°	50	100
RO13	TPGN 160308-010	0,25	0°	100	100
RO14	TPGN 160308-010	0,5	0°	100	100
RO15	TPGN 160308-010	0,75	0°	100	100
RO16	TPGN 160308-010	0,25	0°	150	100
RO17	TPGN 160308-010	0,5	0°	150	100
RO18	TPGN 160308-010	0,75	0°	150	100
RO19	TPGN 160308-015	0,25	0°	50	150
RO20	TPGN 160308-015	0,5	0°	50	150
RO21	TPGN 160308-015	0,75	0°	50	150
RO22	TPGN 160308-015	0,25	0°	100	150
RO23	TPGN 160308-015	0,5	0°	100	150
RO24	TPGN 160308-015	0,75	0°	100	150
RO25	TPGN 160308-015	0,25	0°	150	150
RO26	TPGN 160308-015	0,5	0°	150	150
RO27	TPGN 160308-015	0,75	0°	150	150
RO28	TPGN 160308-005	0,25	6°	50	50
RO29	TPGN 160308-005	0,5	6°	50	50

DENEY NUMARASI	KESİCİ TAKIM	KESME HIZI (m/dak)	POZİTİF TALAŞ AÇISI (°)	KESME DERİNLİĞİ (µm)	KESİCİ AĞIZ YARIÇAPI (µm)
RO30	TPGN 160308-005	0,75	6°	50	50
RO31	TPGN 160308-005	0,25	6°	100	50
RO32	TPGN 160308-005	0,5	6°	100	50
RO33	TPGN 160308-005	0,75	6°	100	50
RO34	TPGN 160308-005	0,25	6°	150	50
RO35	TPGN 160308-005	0,5	6°	150	50
RO36	TPGN 160308-005	0,75	6°	150	50
RO37	TPGN 160308-010	0,25	6°	50	100
RO38	TPGN 160308-010	0,5	6°	50	100
RO39	TPGN 160308-010	0,75	6°	50	100
RO40	TPGN 160308-010	0,25	6°	100	100
RO41	TPGN 160308-010	0,5	6°	100	100
RO42	TPGN 160308-010	0,75	6°	100	100
RO43	TPGN 160308-010	0,25	6°	150	100
RO44	TPGN 160308-010	0,5	6°	150	100
RO45	TPGN 160308-010	0,75	6°	150	100
RO46	TPGN 160308-015	0,25	6°	50	150
RO47	TPGN 160308-015	0,5	6°	50	150
RO48	TPGN 160308-015	0,75	6°	50	150
RO49	TPGN 160308-015	0,25	6°	100	150
RO50	TPGN 160308-015	0,5	6°	100	150
RO51	TPGN 160308-015	0,75	6°	100	150
RO52	TPGN 160308-015	0,25	6°	150	150
RO53	TPGN 160308-015	0,5	6°	150	150
RO54	TPGN 160308-015	0,75	6°	150	150

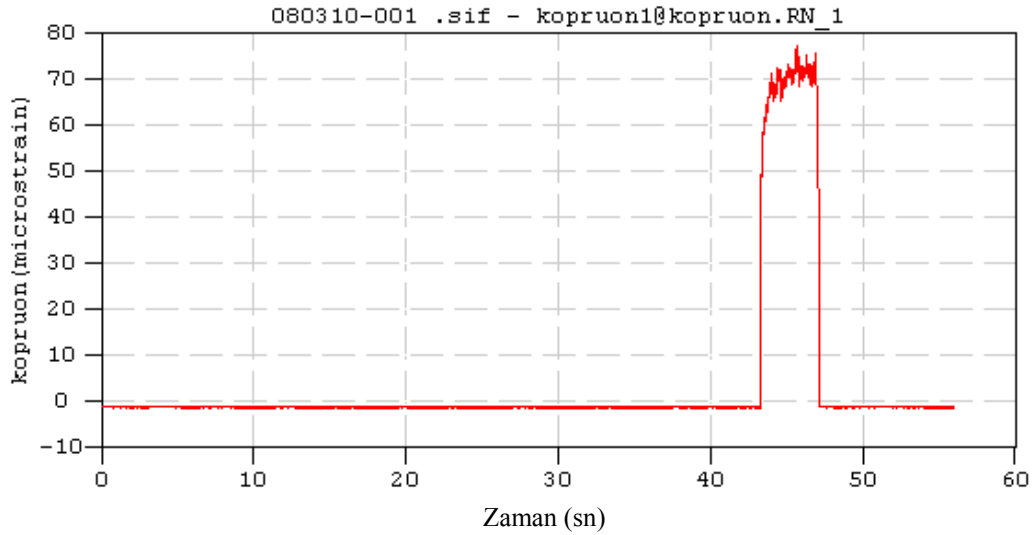
Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için belirtilen talaş kaldırma şartlarında kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler ölçüldü. Ani duruş yapılarak talaş kaldırma işlemi uygulanan iş parçaları mikroskopta incelendi. Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma numuneleri gibi polyester içine gömüldü, zımparalama, parlatma ve mikro dağlama işlemi bir önceki bölümde belirtildiği gibi yapıldı.

4.5 Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

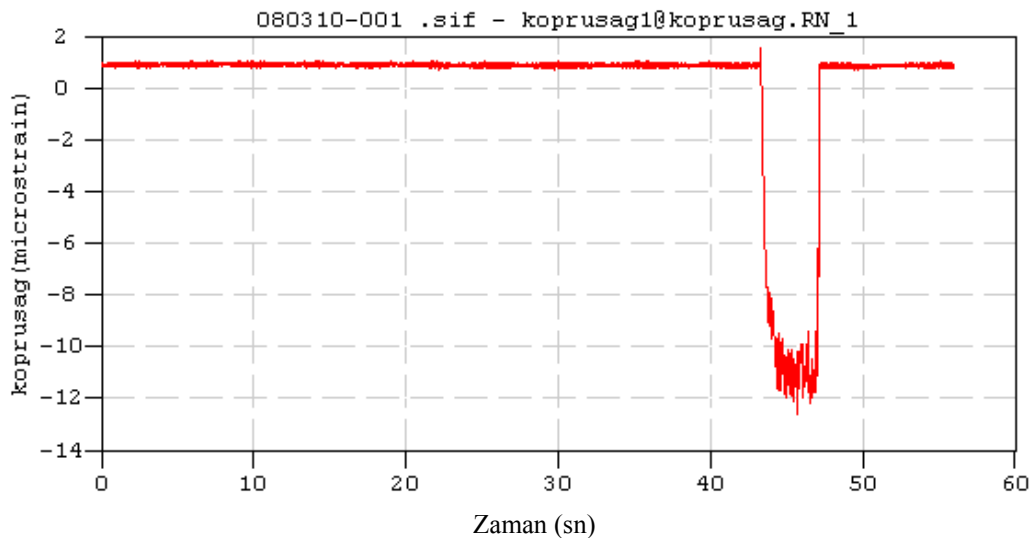
Gerçekleştirilen deneyler sonucunda gerinim ölçerlerden elde edilen mikrostrain gerinme değerlerinden kesme kuvveti ve radyal kuvvet değerleri bulunmuştur. Deney sonuçları iki bölümde incelenecektir. Sırasıyla negatif talaş açılı takımlar için deneysel sonuçlar ve kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için deneysel sonuçlar.

4.5.1 Negatif Talaş Açılı Takımlar İçin Deneysel Sonuçlar

Bölüm 4.5.1’de belirtilen talaş kaldırma şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda mikrostrain zaman grafikleri elde edildi. Negatif talaş açılı takımlar için talaş kaldırmada 0° ve -10° için katerin ön ve sağ tarafından elde edilen mikrostrain değerleri kullanıldı. Şekil 4.15 ve 4.16’da mikrostrain zaman grafiği verilmiştir.

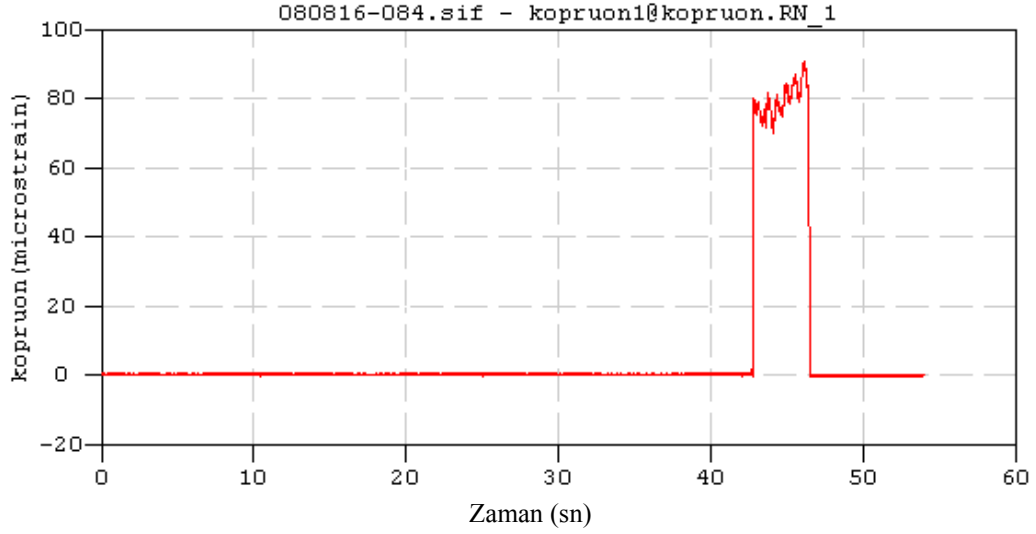


Şekil 4.15 N001 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)

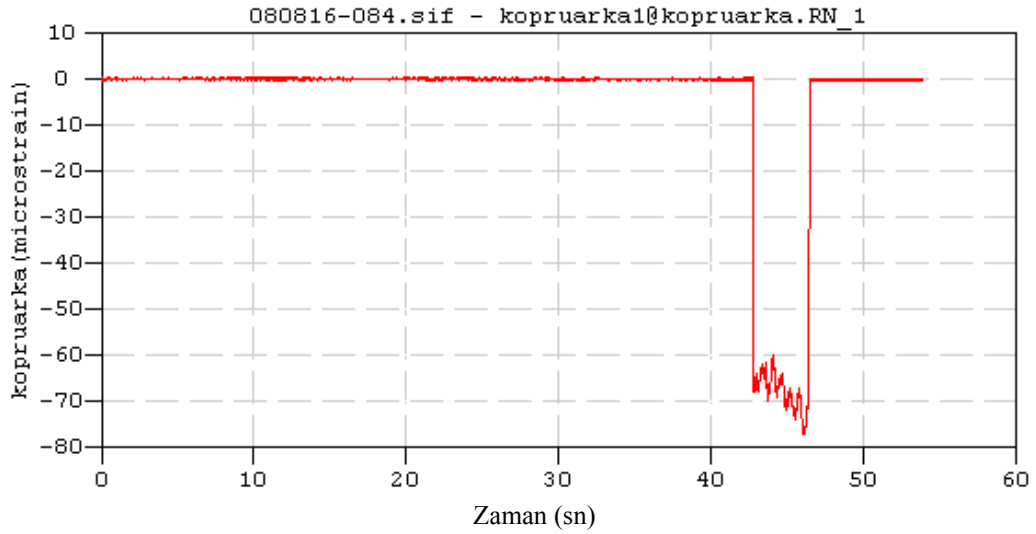


Şekil 4.16 N001 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (sağ)

Negatif talaş açıları -20° , -30° , -40° , -50° , -60° ve -70° için katerin ön ve arka tarafından ölçülen mikrostrain değerleri kullanıldı. Şekil 4.17 ve 4.18’de mikrostrain zaman değişim grafikleri görülmektedir.



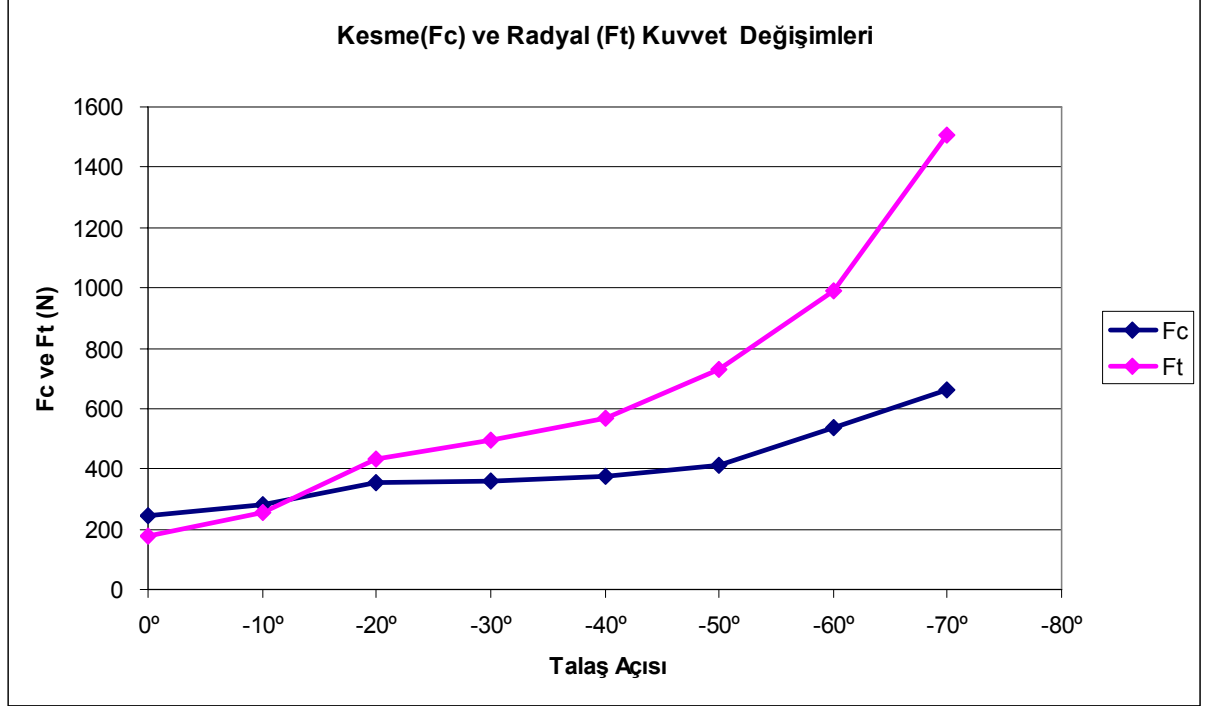
Şekil 4.17 N048 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)



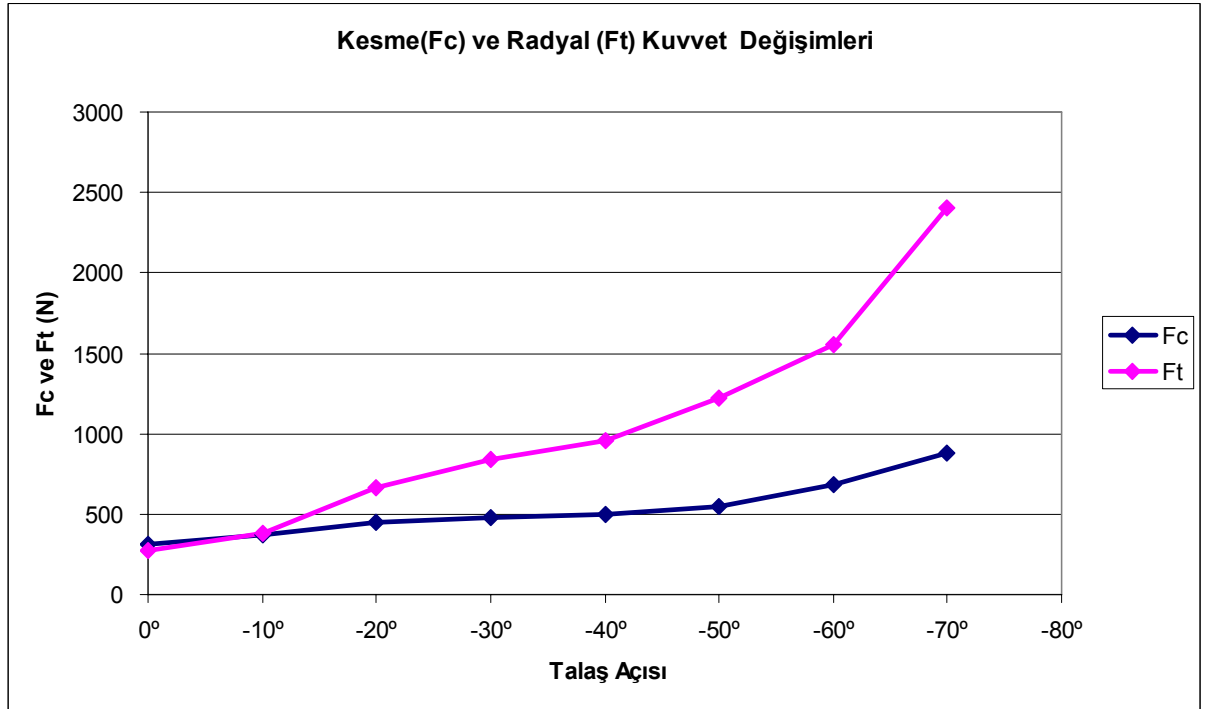
Şekil 4.18 N048 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (arka)

Talaş kaldırma işleminin gerçekleştirildiği zaman diliminde mikrostrain değişim grafiklerindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama mikrostrain değeri bulundu. Math Cad programıyla mikrostrain değerlerinden tüm radyal kuvvetler ve kesme kuvvetleri hesaplandı. Sabit kesme hızı ve derinliğinde negatif talaş açısına göre kesme kuvveti (F_c) ve radyal kuvvet (F_t) değişim grafiği Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de sunulmuştur. Farklı kesme hızları ve negatif talaş açılarında kesme derinliğine göre kesme kuvveti (F_c) değişimi Şekil 4.22, 4.23, 4.24’de ve radyal kuvvet (F_t) değişim grafiği Şekil 4.25, 4.26, 4.27’de verilmiştir.

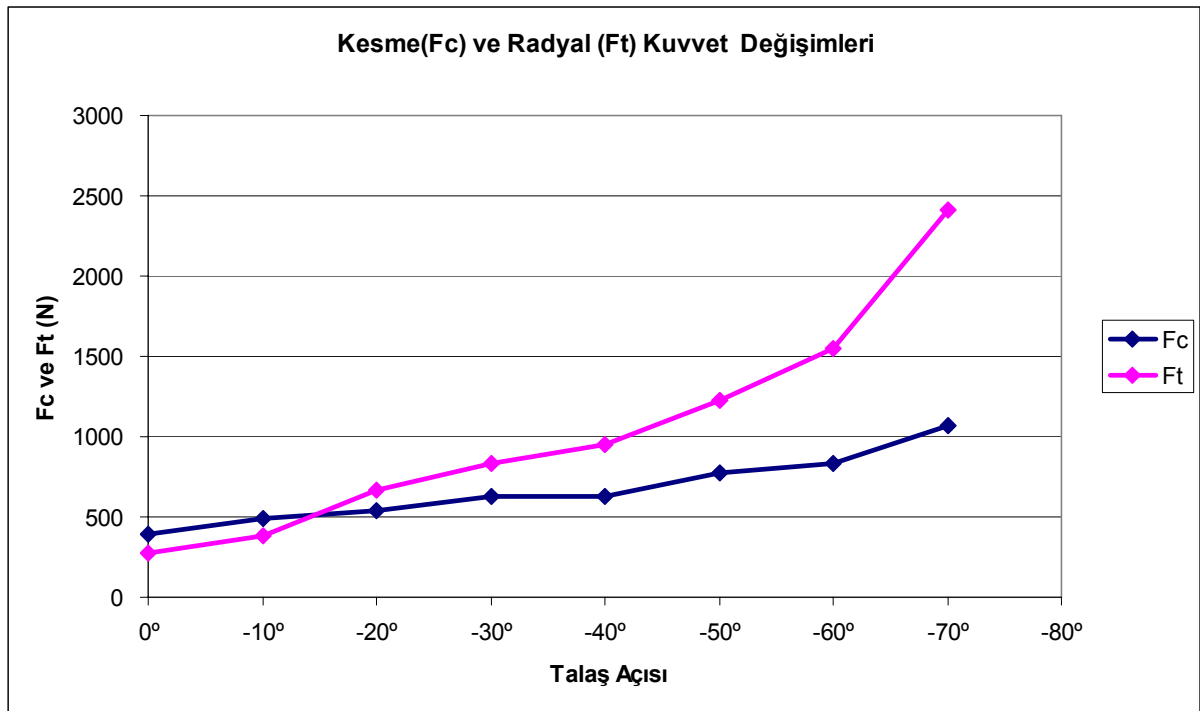
Farklı kesme hızlarında ve talaş açılarında kesme derinliğine göre $F/k.t_1.w$ değişimi Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30’de görülmektedir. Farklı talaş açılarında ve kesme derinliğinde talaş açısına göre $F/k.t_1.w$ değişimi Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33’de verilmiştir.



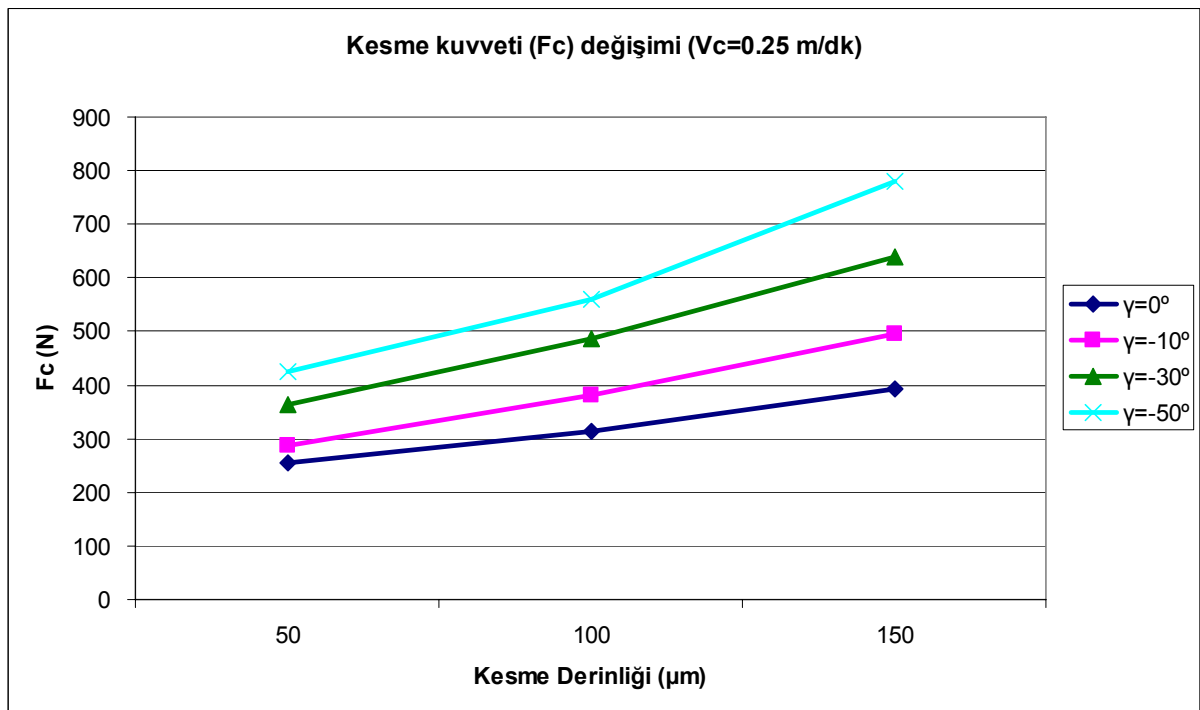
Şekil 4.19 Kesme (Fc) ve radyal (Ft) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi
($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,05$ mm)



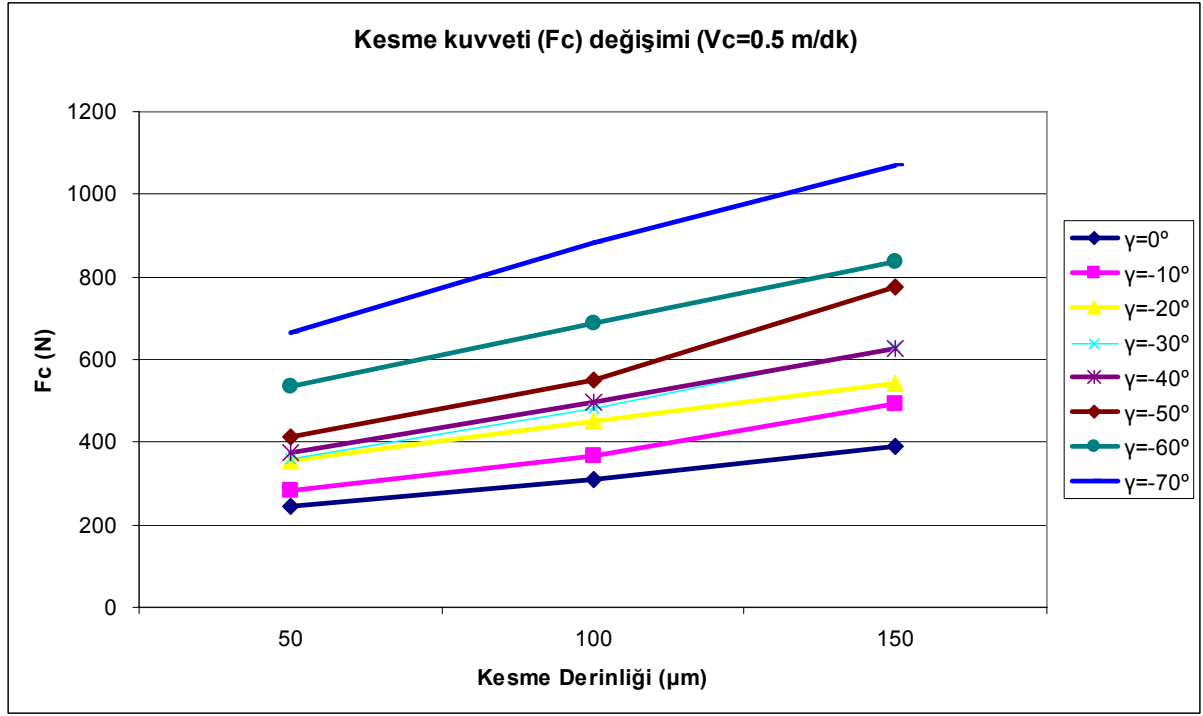
Şekil 4.20 Kesme (Fc) ve radyal (Ft) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi
($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,1$ mm)



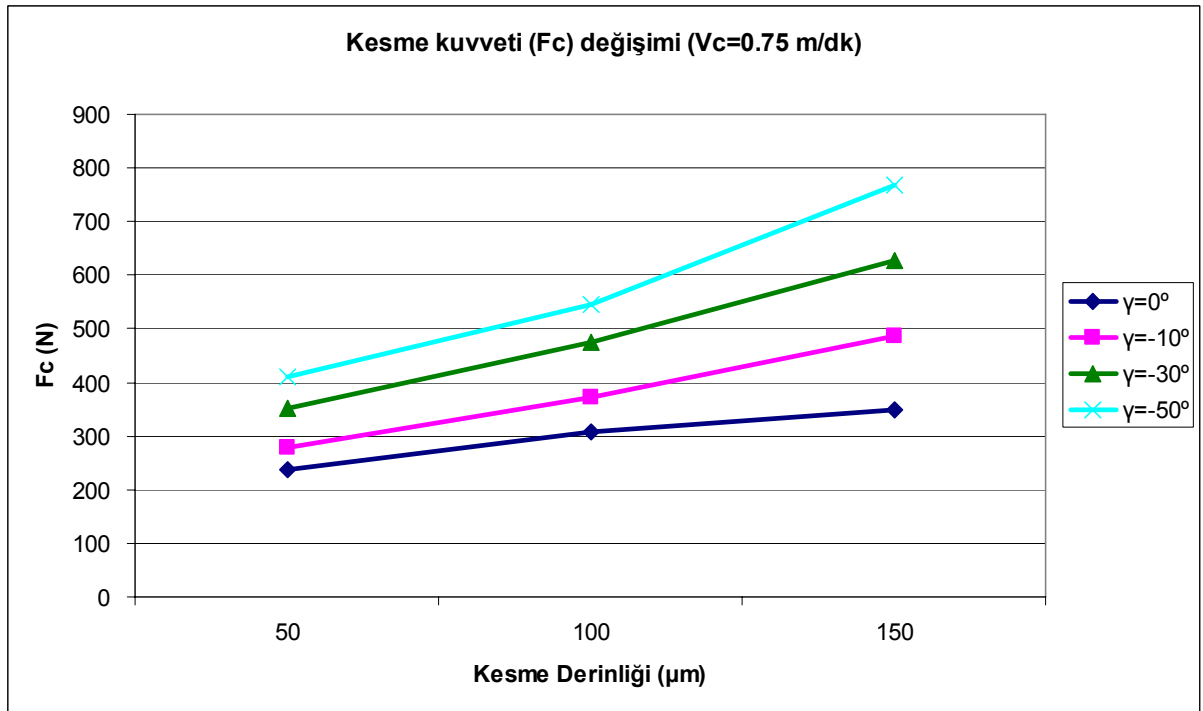
Şekil 4.21 Kesme (F_c) ve radyal (F_t) kuvvetlerin talaş açısına göre değişimi
($V_c=0,5$ m/dak, $t_1=0,15$ mm)



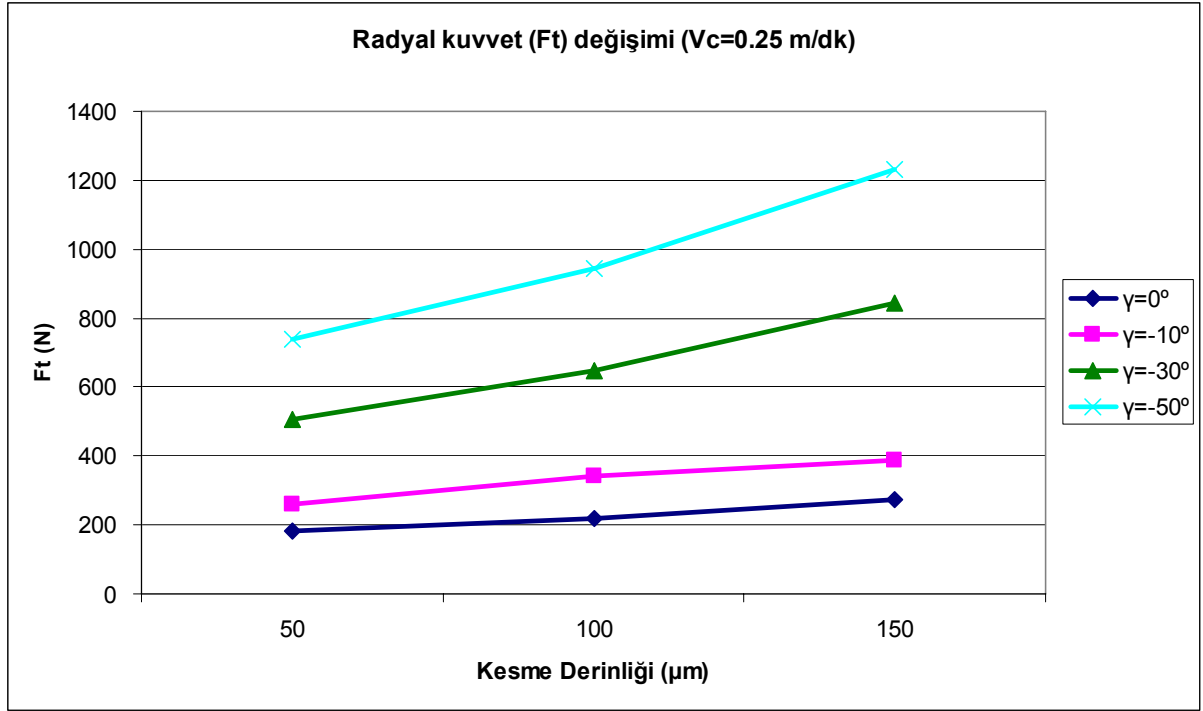
Şekil 4.22 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (F_c) değişimi
($V_c=0,25$ m/dak)



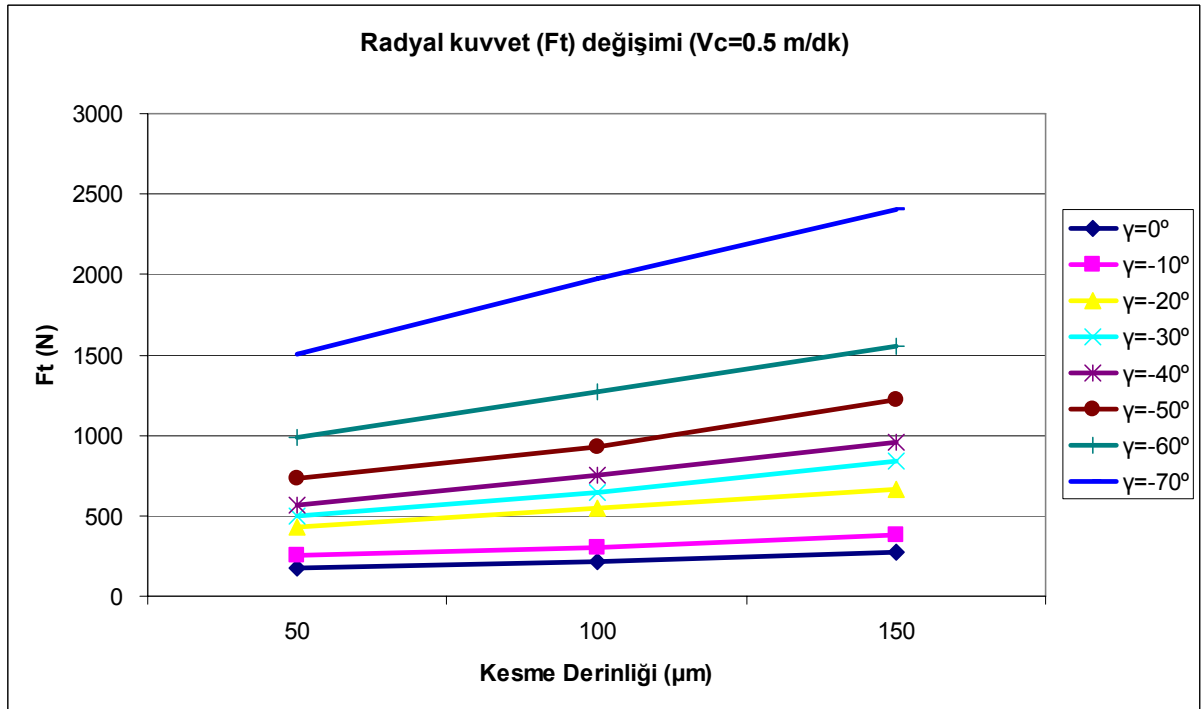
şekil 4.23 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (Fc) değişimi
(Vc=0,5 m/dak)



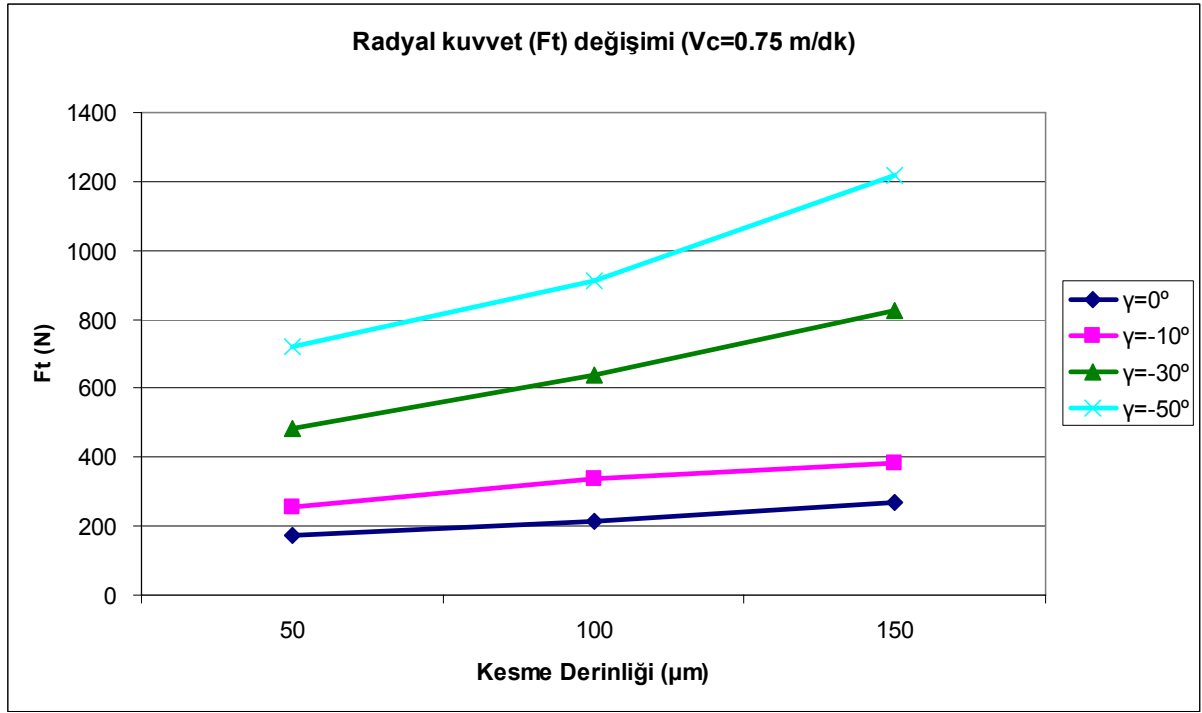
şekil 4.24 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında kesme kuvveti (Fc) değişimi
(Vc=0,75 m/dak)



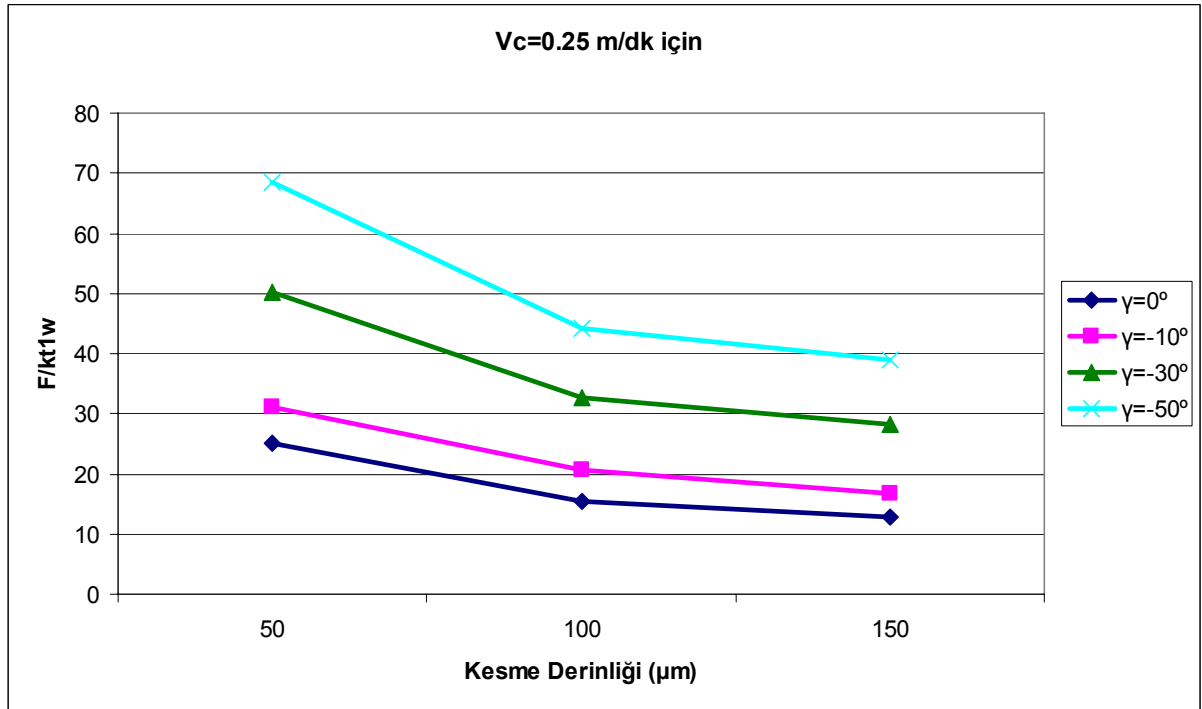
Şekil 4.25 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (Ft) değişimi
(Vc=0,25 m/dak)



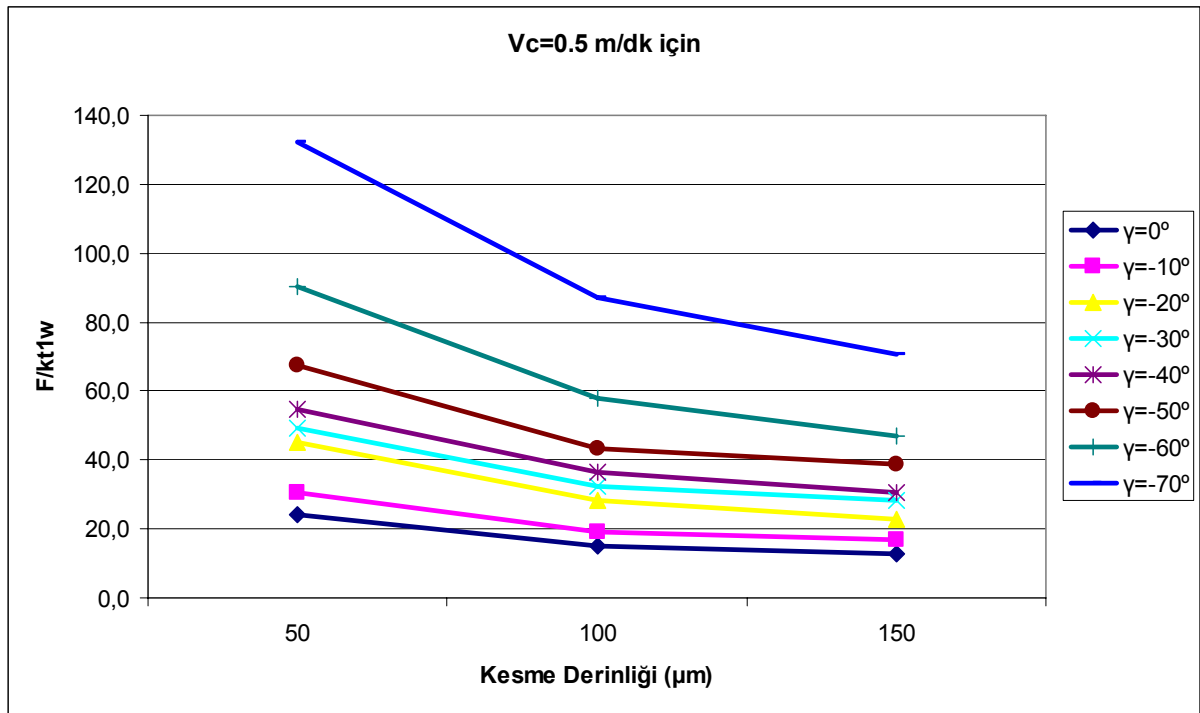
Şekil 4.26 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (Ft) değişimi
(Vc=0,5 m/dak)



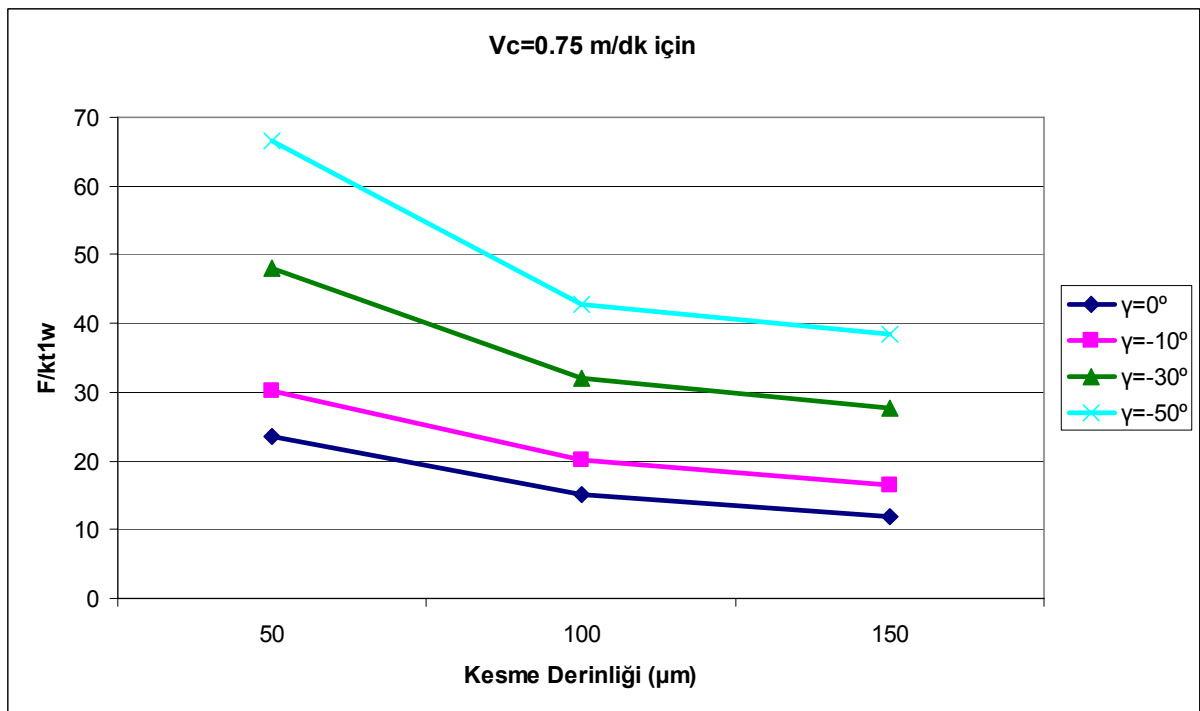
Şekil 4.27 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında radyal kuvvet (Ft) değişimi (Vc=0,75 m/dak)



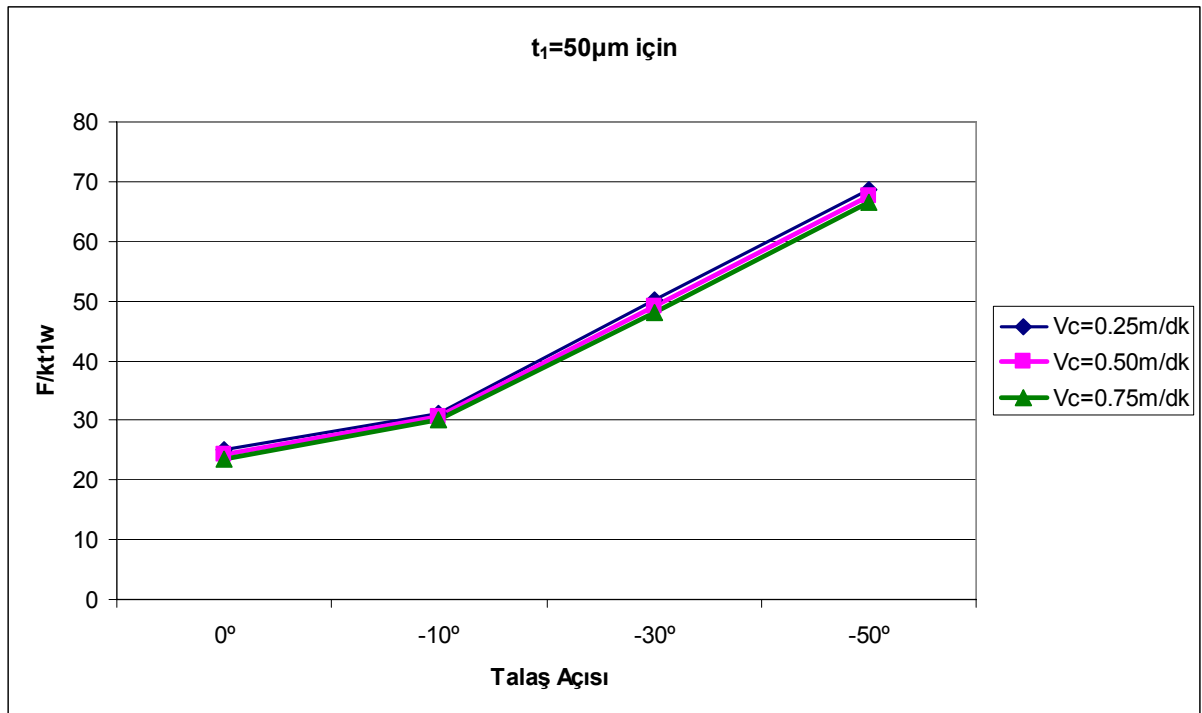
Şekil 4.28 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında F/k.t1.w değişimi (Vc=0,25 m/dak)



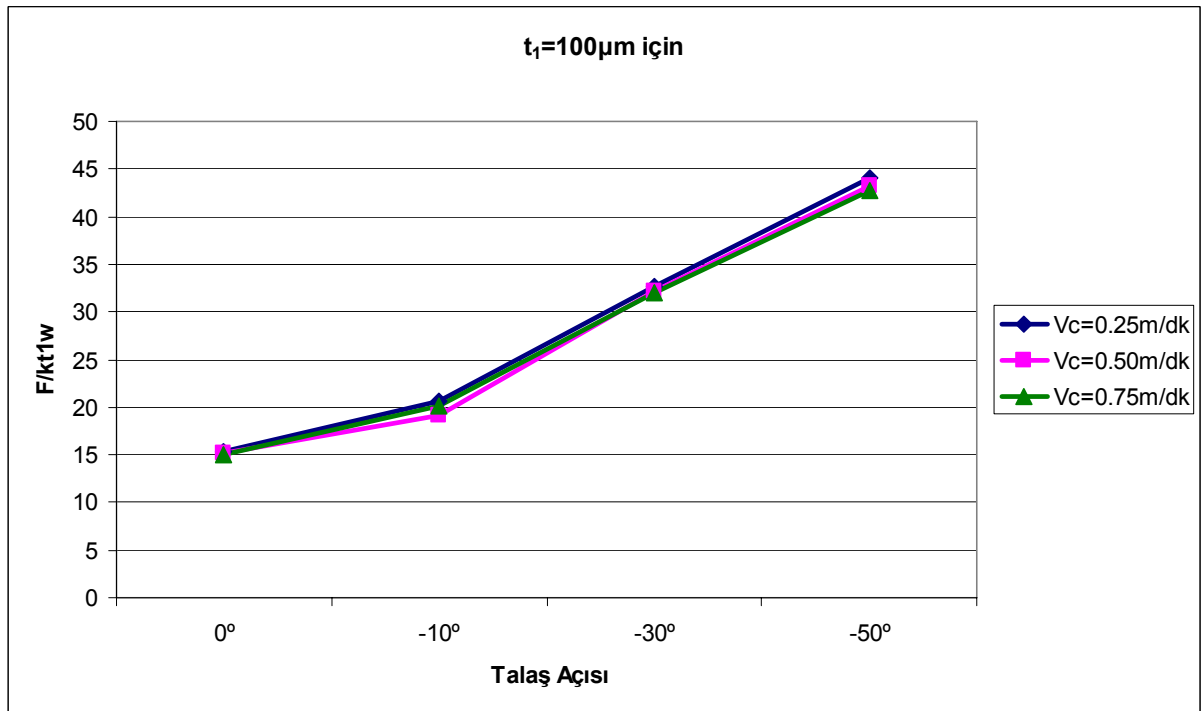
Şekil 4.29 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($V_c=0,50$ m/dak)



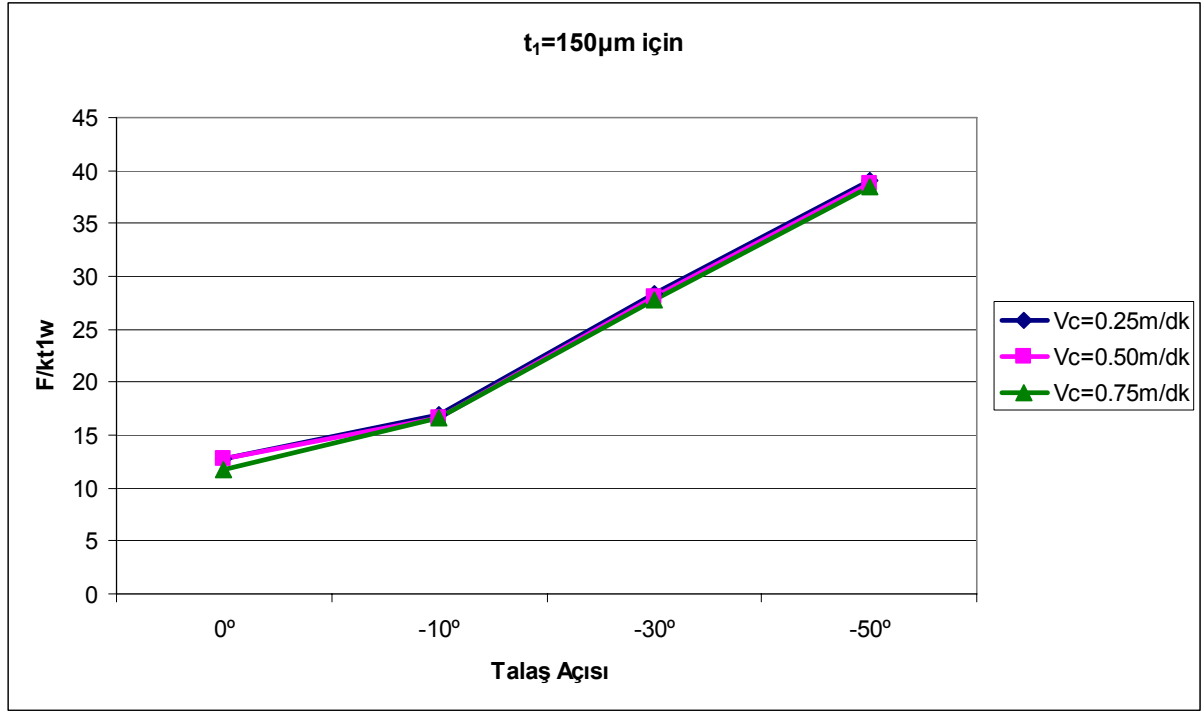
Şekil 4.30 Kesme derinliğine göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($V_c=0,75$ m/dak)



Şekil 4.31 Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=50\mu\text{m}$)



Şekil 4.32 Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=100\mu\text{m}$)



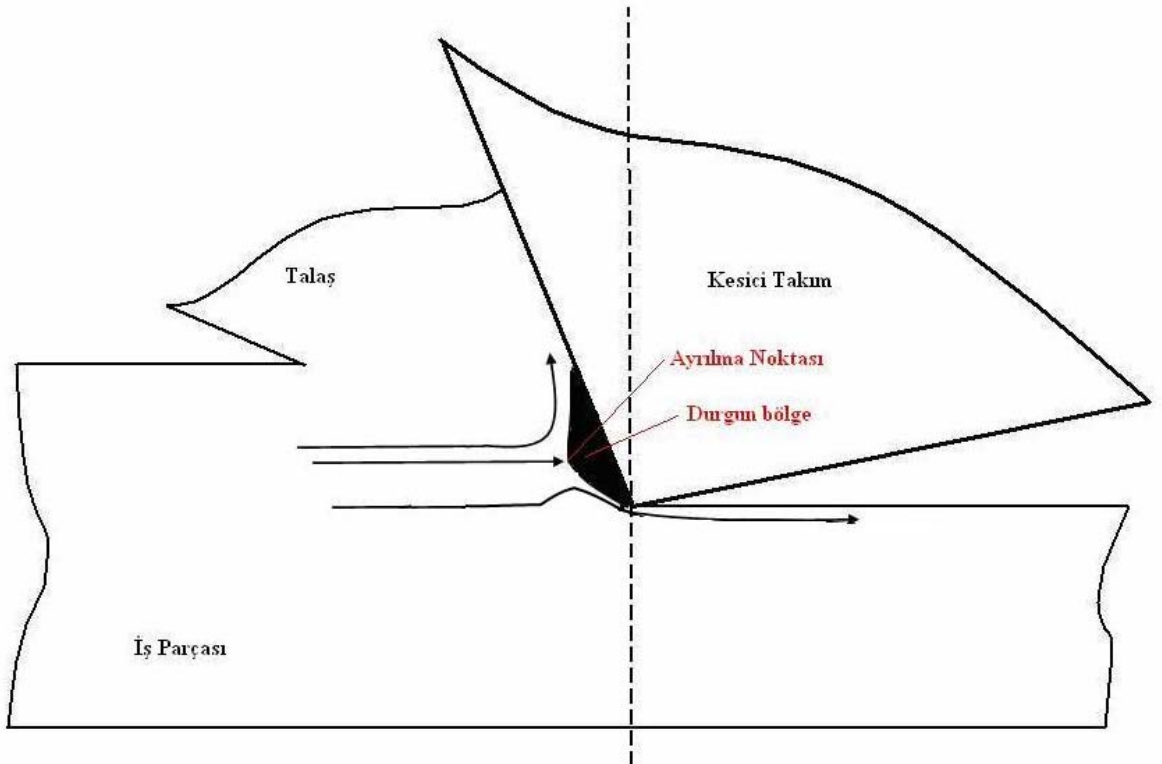
Şekil 4.33 Talaş açısına göre farklı talaş açılarında $F/k.t_1.w$ değişimi ($t_1=150\mu m$)

Grafiklerin incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Negatif talaş açısı mutlak değer olarak arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).
- Farklı kesme derinliklerinde negatif talaş açısına göre kesme kuvveti ve radyal kuvvet değişimleri benzerdir (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).
- Özellikle negatif talaş açısı -50° 'den sonra radyal kuvvet artışı fazla olmaktadır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).
- Tüm negatif talaş açısı değerlerinde, kesme derinliği arttıkça kesme kuvveti artmaktadır (Şekil 4.22, 4.23, 4.24).
- Farklı kesme hızlarında kesme derinliğine göre kesme kuvveti değişimleri benzerdir (Şekil 4.22, 4.23, 4.24).
- Tüm negatif talaş açısı değerlerinde, kesme derinliği arttıkça radyal kuvvet artmaktadır (Şekil 4.25, 4.26, 4.27).
- Farklı kesme hızlarında kesme derinliğine göre radyal kuvvet değişimleri benzerdir. Özellikle $\gamma = -70^\circ$ için radyal kuvvet (F_t) değişim eğrisinin eğimi diğer negatif talaş açısı değerlerine göre daha yüksektir (Şekil 4.26).
- Negatif talaş açısı -10° 'den sonra radyal kuvvetteki artış miktarı kesme kuvvetinde meydana gelen artışa göre daha yüksektir (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).

- Kesme derinliği arttıkça $F/k.t_1.w$ oranı azalmaktadır. Bu durum tüm kesme hızları için geçerlidir (Şekil 4.28, 4.29, 4.30).
- $\gamma = -70^\circ$ ve $\gamma = -60^\circ$ için 0,5 m/dak kesme hızında $F/k.t_1.w$ oranı değişim eğrisinin eğimi diğer negatif talaş açısı değerlerine göre daha yüksektir (Şekil 4.29).
- Negatif talaş açısı negatifleştikçe $F/k.t_1.w$ oranı tüm kesme hızları için artmaktadır (Şekil 4.31, 4.32, 4.33).
- Farklı kesme derinlikleri için negatif talaş açısına göre $F/k.t_1.w$ oranı değişimleri benzerdir (Şekil 4.19, 4.20, 4.21).
- Kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır.
- Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler azalmaktadır.

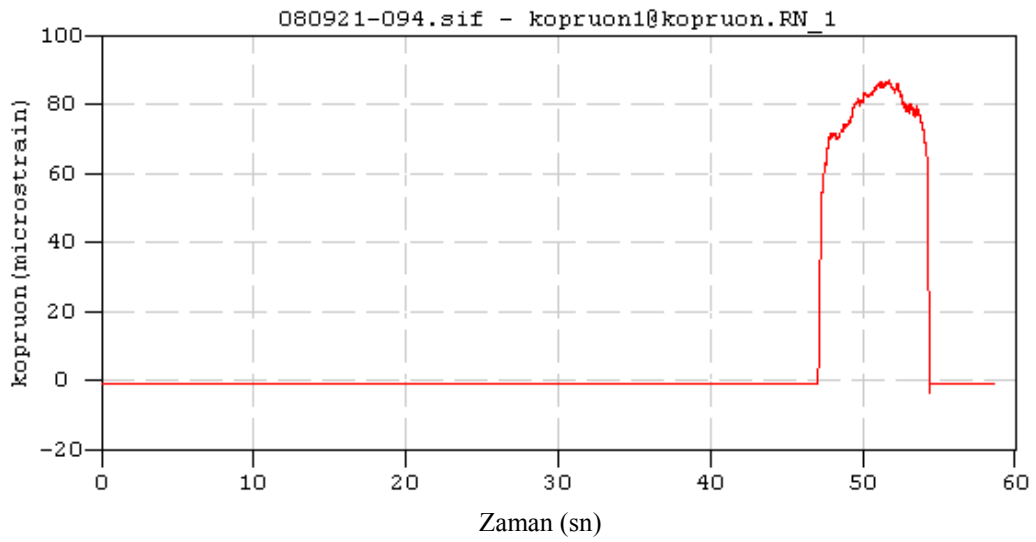
Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada iş parçası malzemelerin incelenmesi sonrasında malzeme akış yönünü ayrılma noktasının belirlediği görülmüştür. İş parçası malzemesi ölü bölge üzerinde bulunan ayrılma noktasından itibaren yukarı ve aşağıya doğru akmaktadır (Şekil 4.34). Ölü bölge, negatif talaş açılı takımlar ile talaş kaldırma için oluşturulan yeni kayma hattı modelinde belirtilmiştir (Şekil 3.4). Yeni kayma hattı modelinde L ayrılma noktasıdır. Ölü bölge değişimi kayma hattı modelinin çözülmesiyle belirlenmiştir.



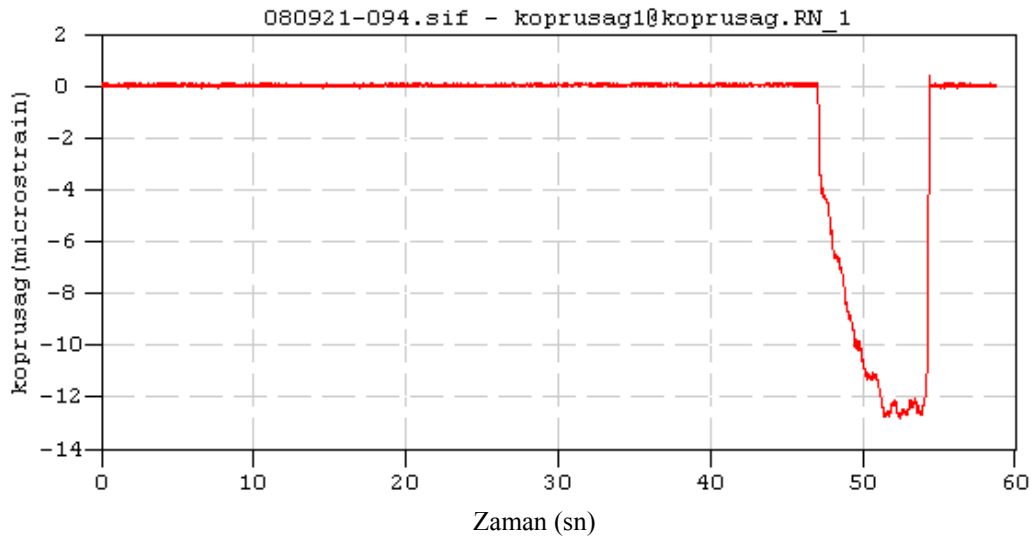
Şekil 4.34 Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada malzeme akışı

4.5.2 Kesici Ağız Yuvarlatılmış Takımlar İçin Deneysel Sonuçlar

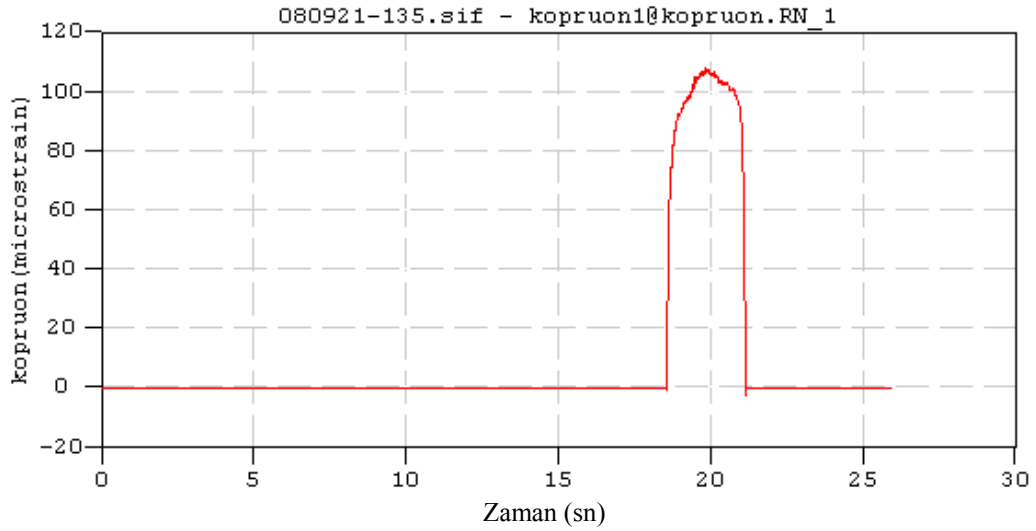
Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile Bölüm 4.5.1’de belirtilen talaş kaldırma şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda mikrostrain zaman grafikleri elde edildi. Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için talaş kaldırmada talaş açısı 0° ve 6° için katerin ön ve sağ tarafında bulunan gerinim ölçerlerden elde edilen mikrostrain değerleri kullanıldı. Şekil 4.35 ve 4.36’da talaş açısı 0° için mikrostrain zaman grafiği verilmiştir. Şekil 4.37 ve 4.38’de talaş açısı 6° için mikrostrain zaman grafiği verilmiştir.



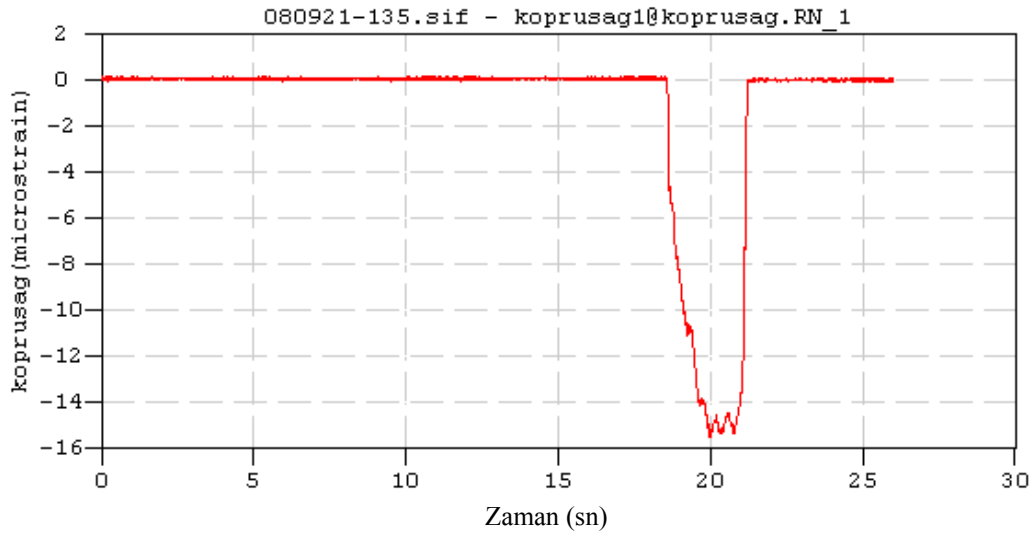
Şekil 4.35 R004 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)



Şekil 4.36 R004 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (sağ)



Şekil 4.37 R0045 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)



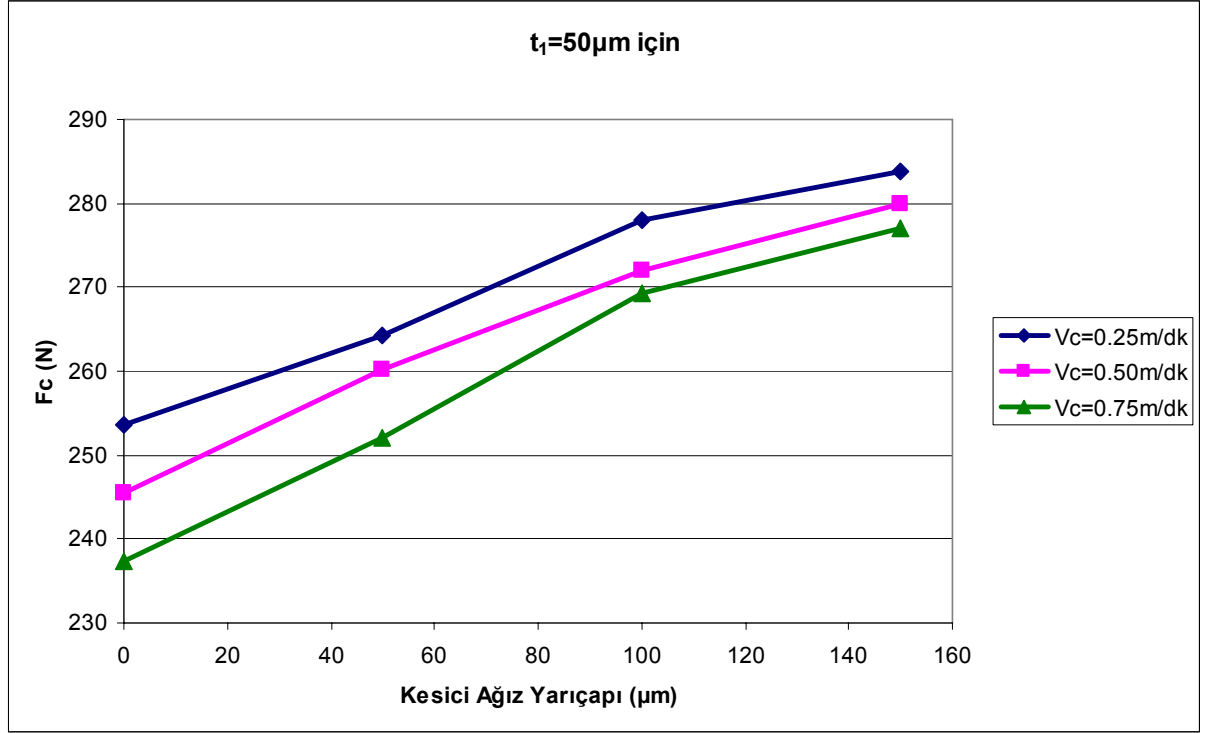
Şekil 4.38 R0045 Nolu deney için mikrostrain zaman değişim grafiği (ön)

Talaş kaldırma işleminin gerçekleştirildiği zaman diliminde mikrostrain değişim grafiklerindeki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak mikrostrain değerleri bulundu. Math Cad programıyla tüm mikrostrain değerlerinden radyal kuvvetler ve kesme kuvvetleri hesaplandı.

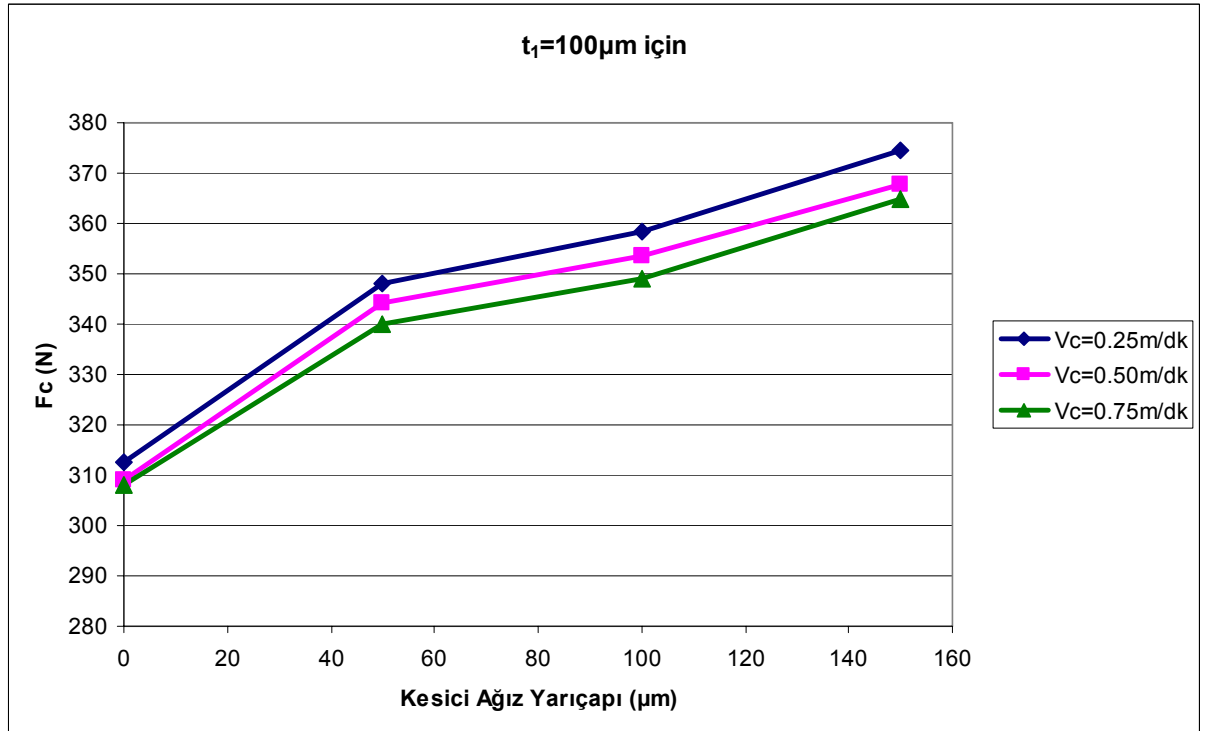
Talaş açısı 0° için farklı kesme hızlarında kesici ağız yarıçapına göre F_c grafiği Şekil 4.39, 4.40, 4.41’de ve F_t değişimi Şekil 4.42, 4.43, 4.44’de sunulmuştur. Farklı kesici ağız yarıçapı ve kesme hızlarında kesme derinliğiyle bileşke kuvvet değişim grafiği Şekil 4.45, 4.46, 4.47’de verilmiştir. Bileşke kuvvet kesme kuvveti ile radyal kuvvetin bileşkesidir.

Talaş açısı 6° için kesici ağız yarıçapına göre farklı kesme hızlarında F_c değişimi Şekil 4.48, 4.49, 4.50’de ve F_t değişimi Şekil 4.51, 4.52, 4.53’de verilmiştir. Farklı kesici ağız yarıçapı

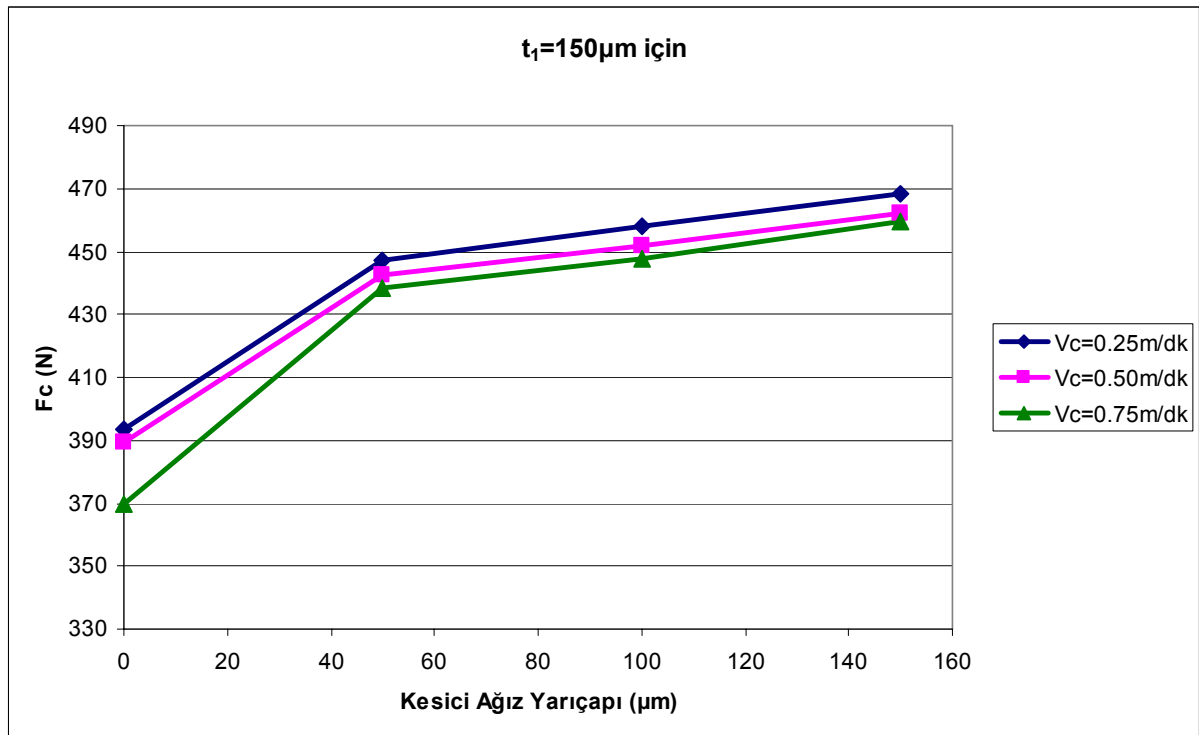
ve kesme hızlarında kesme derinliğiyle bileşke kuvvet değişimi Şekil 4.54, 4.55, 4.56’da sunulmuştur. Aynı kesme hızında farklı kesici ağız yarıçapında talaş açısıyla bileşke kuvvet değişimi Şekil 4.57, 4.58, 4.59’da çizilmiştir.



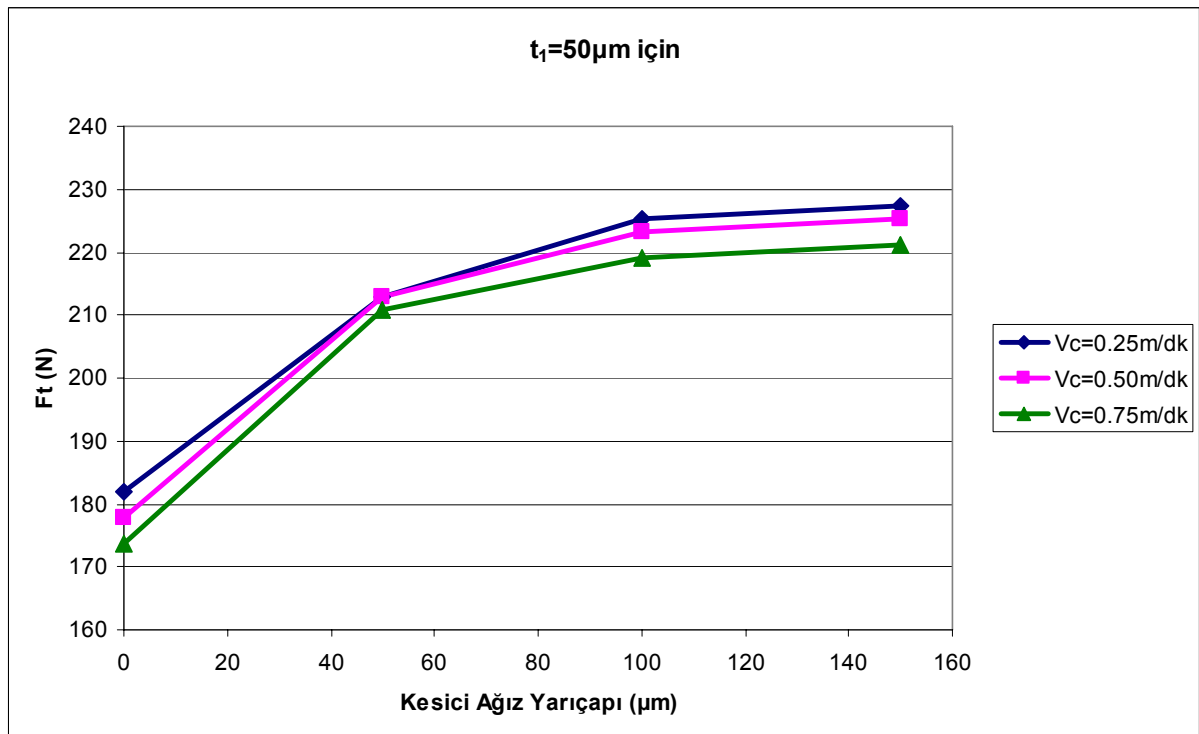
Şekil 4.39 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 50\mu\text{m}$)



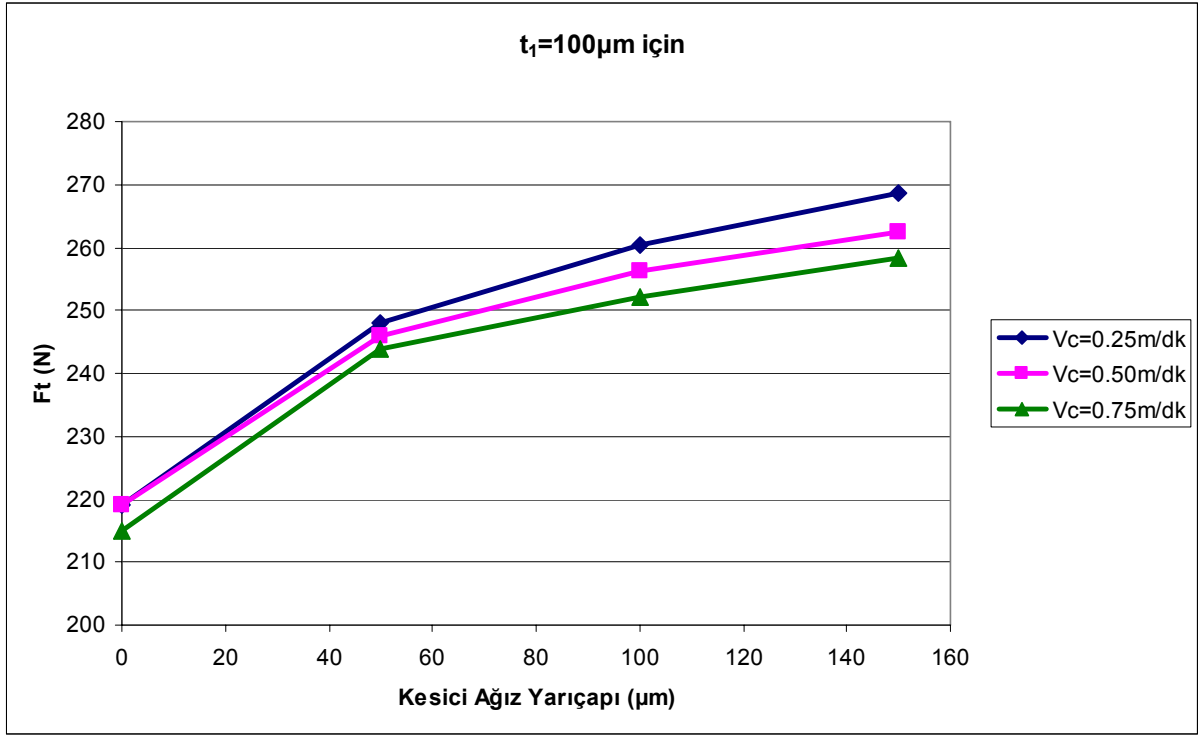
Şekil 4.40 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 100\mu\text{m}$)



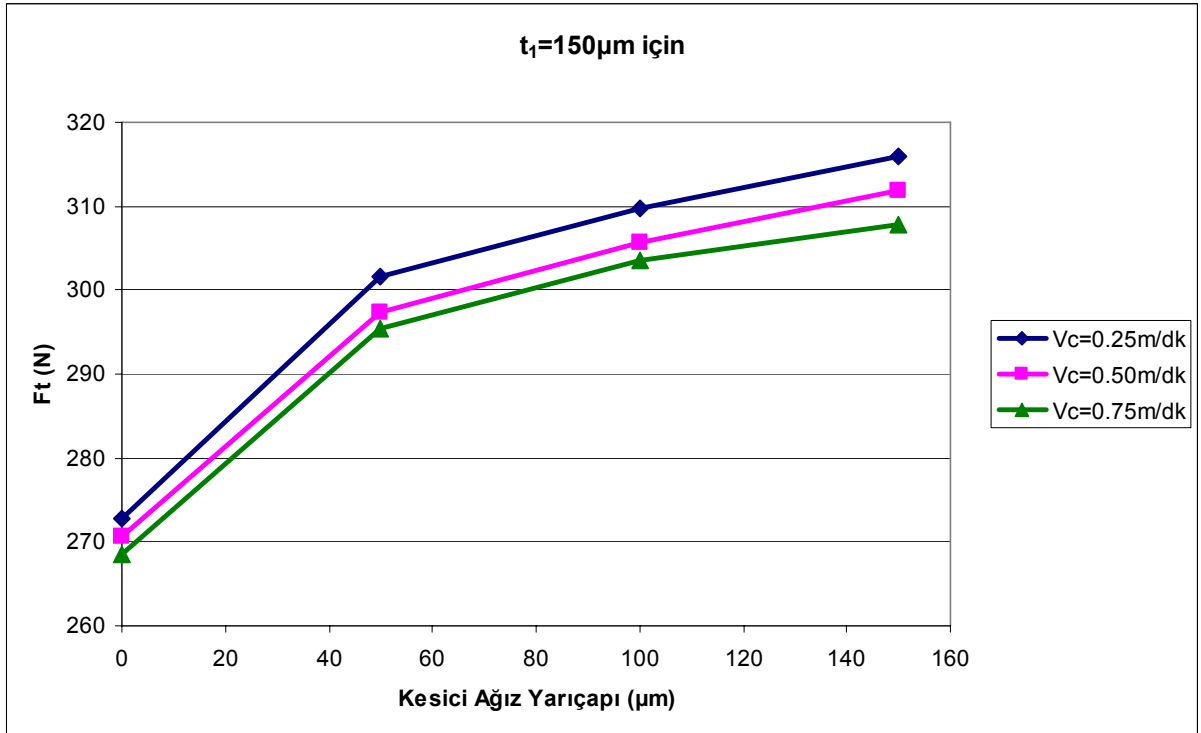
Şekil 4.41 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 150\mu\text{m}$)



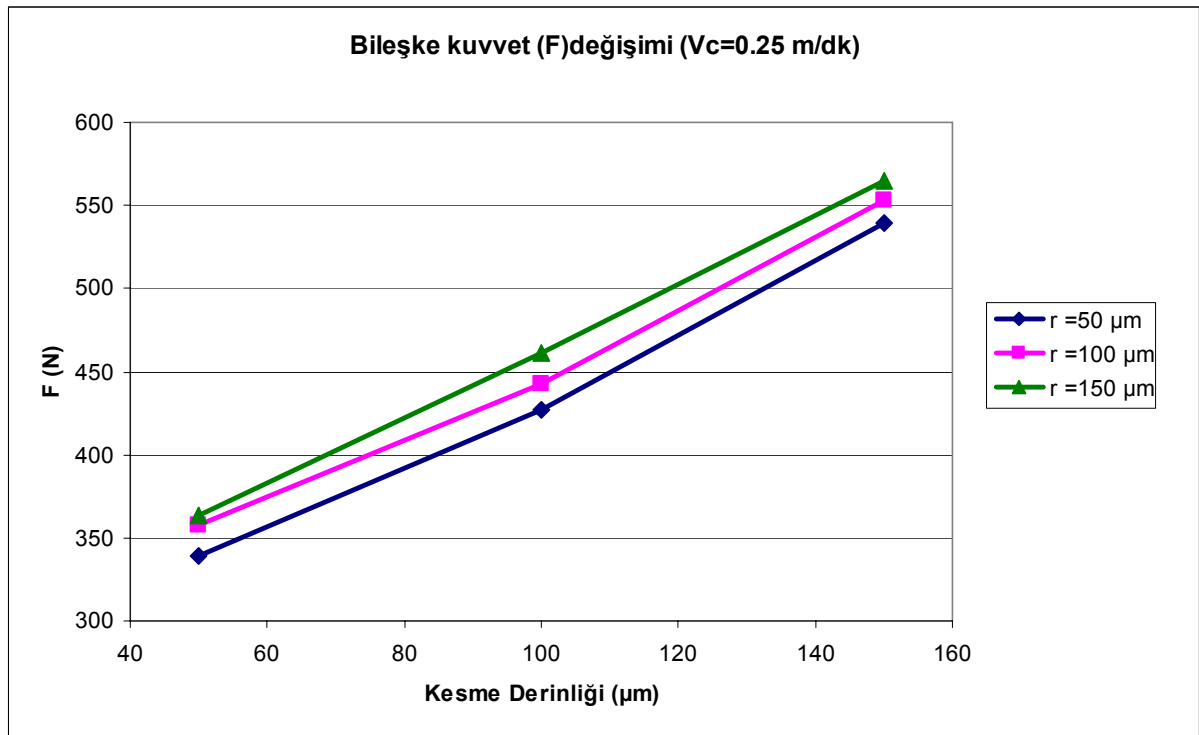
Şekil 4.42 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 50\mu\text{m}$)



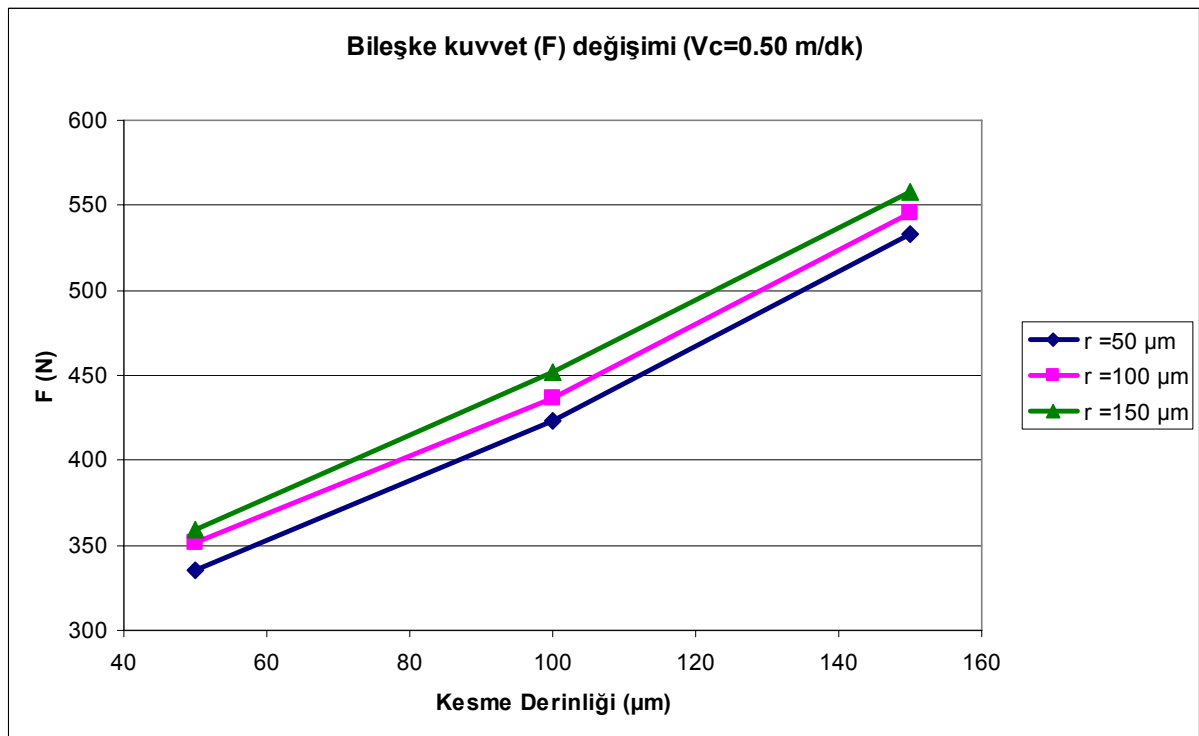
Şekil 4.43 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 100\mu\text{m}$)



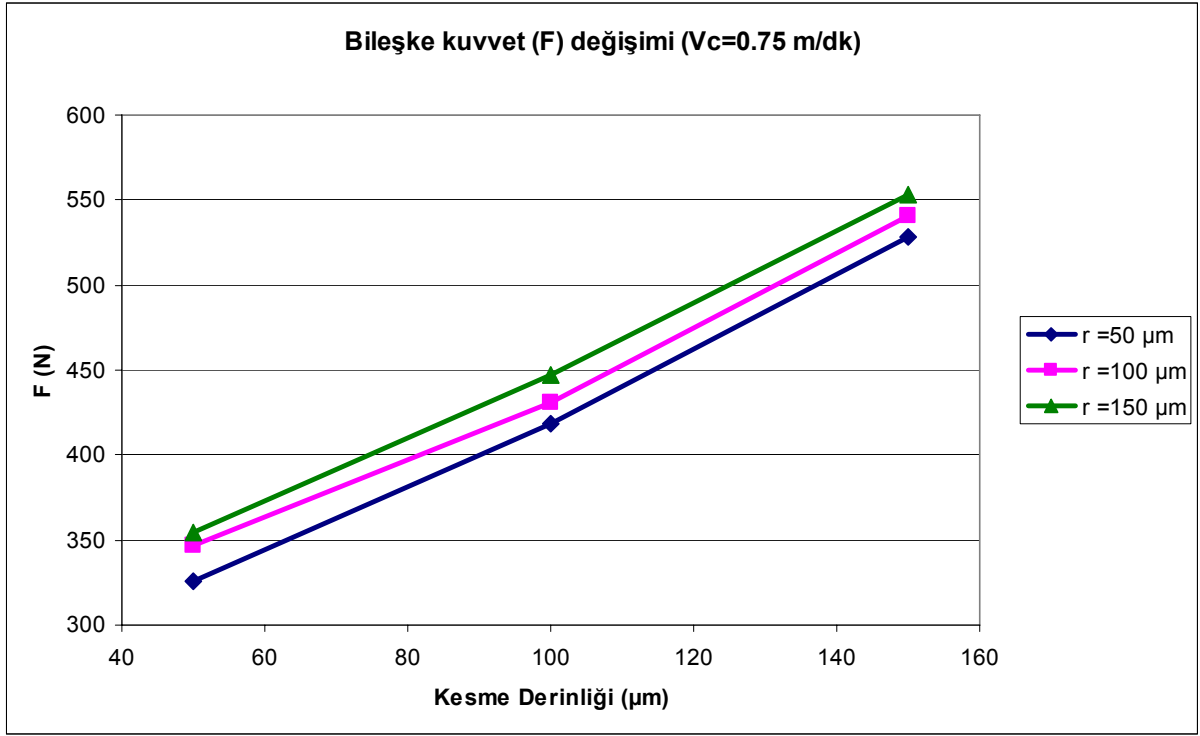
Şekil 4.44 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $t_1 = 150\mu\text{m}$)



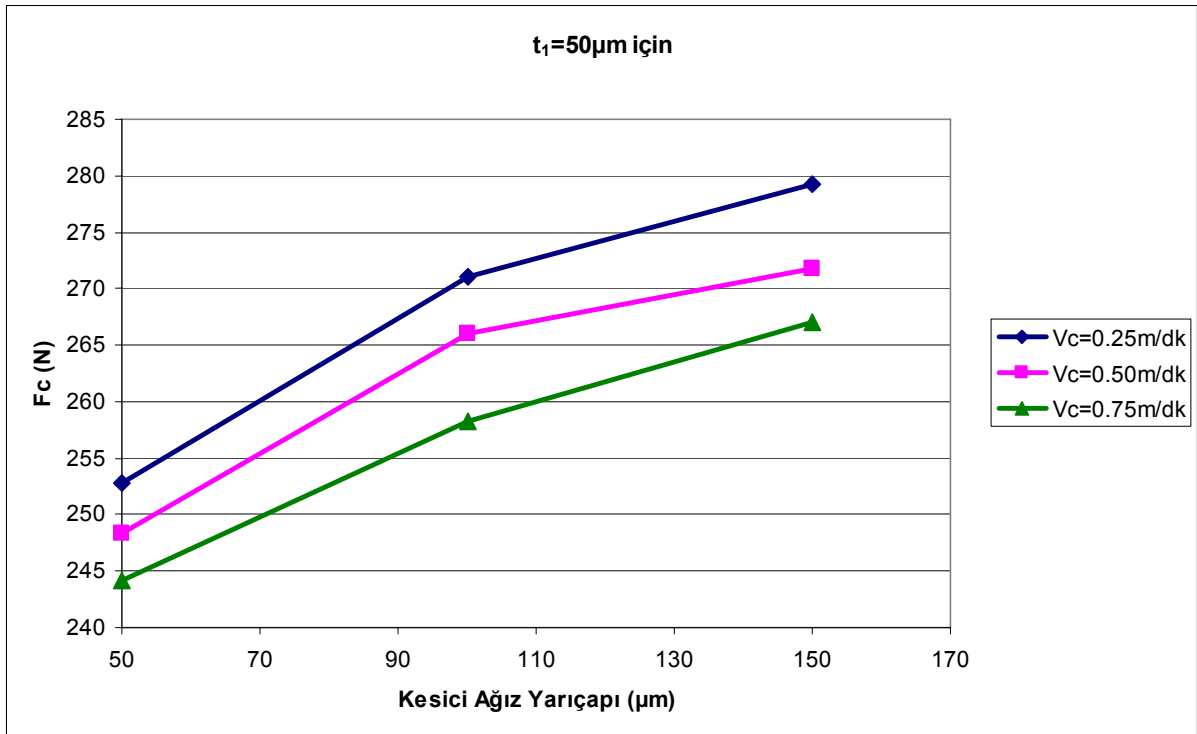
Şekil 4.45 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,25$ m/dak)



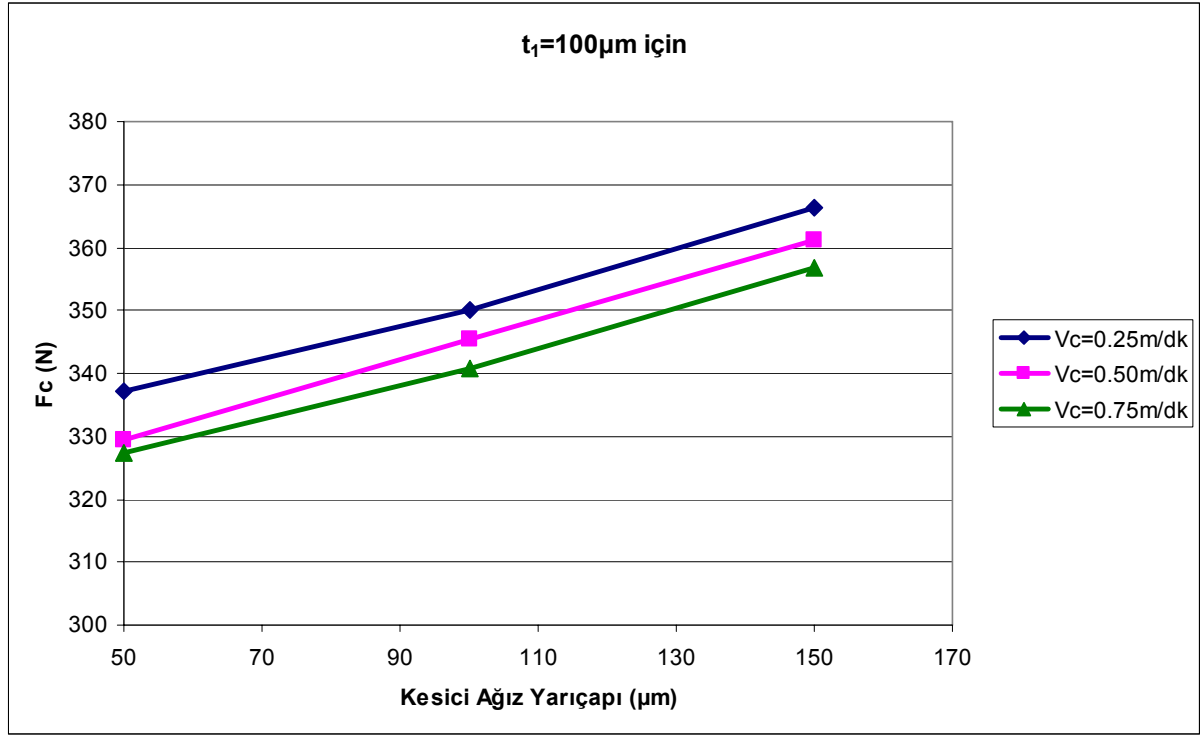
Şekil 4.46 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,50$ m/dak)



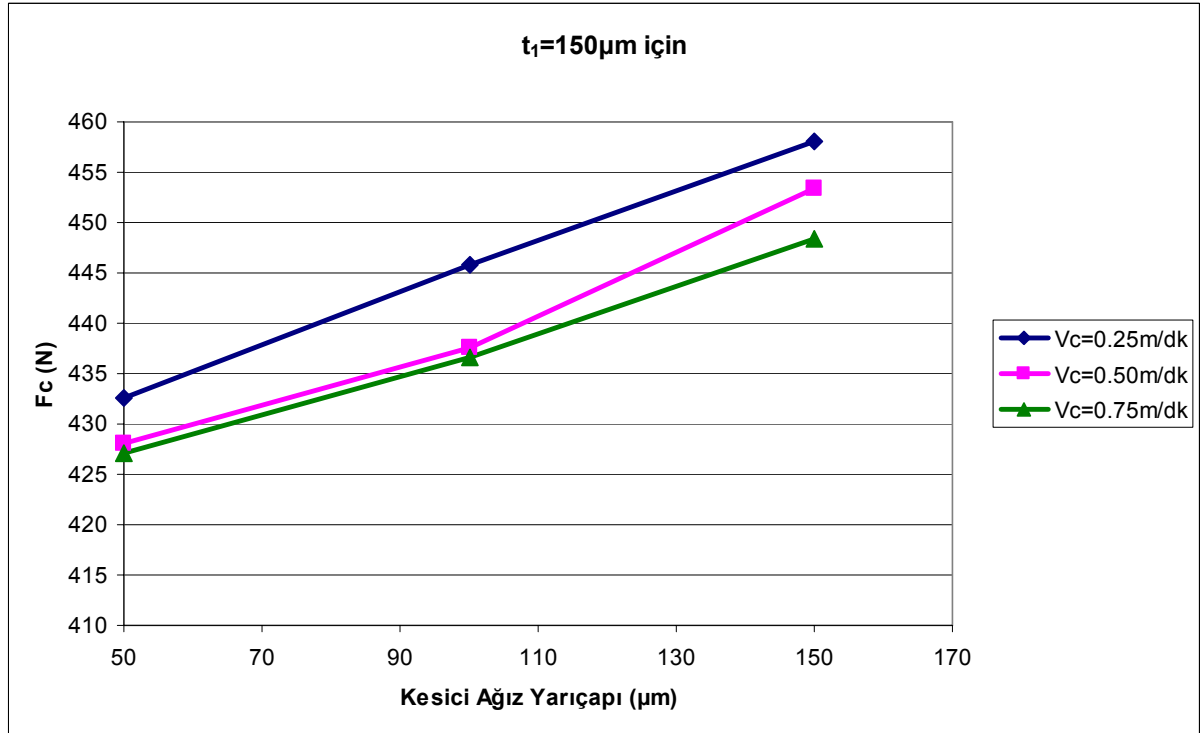
Şekil 4.47 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 0^\circ$, $V_c = 0,75$ m/dak)



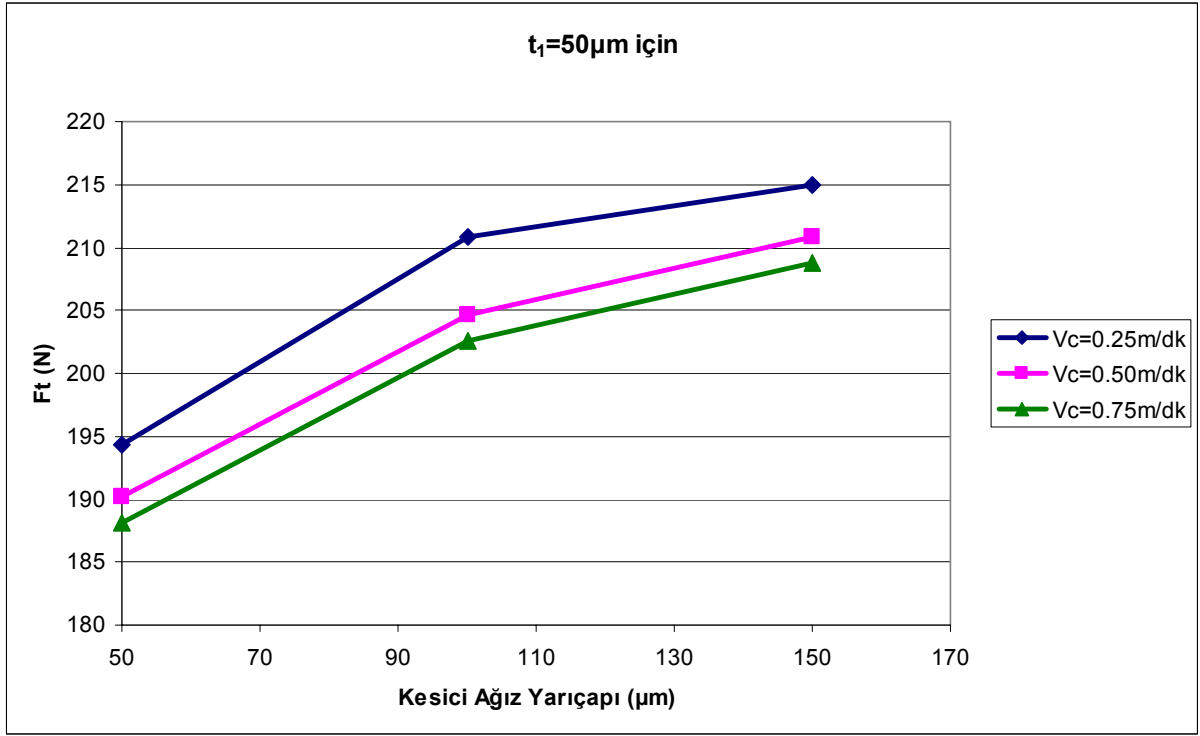
Şekil 4.48 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 50\mu\text{m}$)



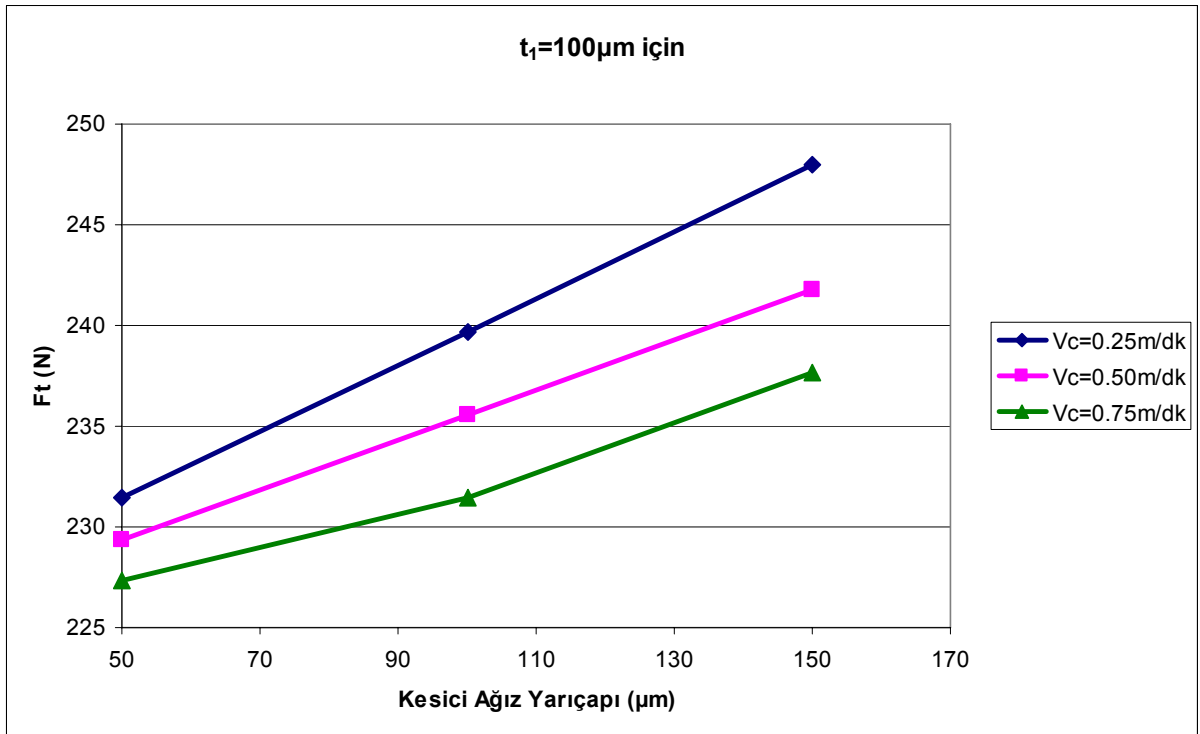
Şekil 4.49 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 100\mu\text{m}$)



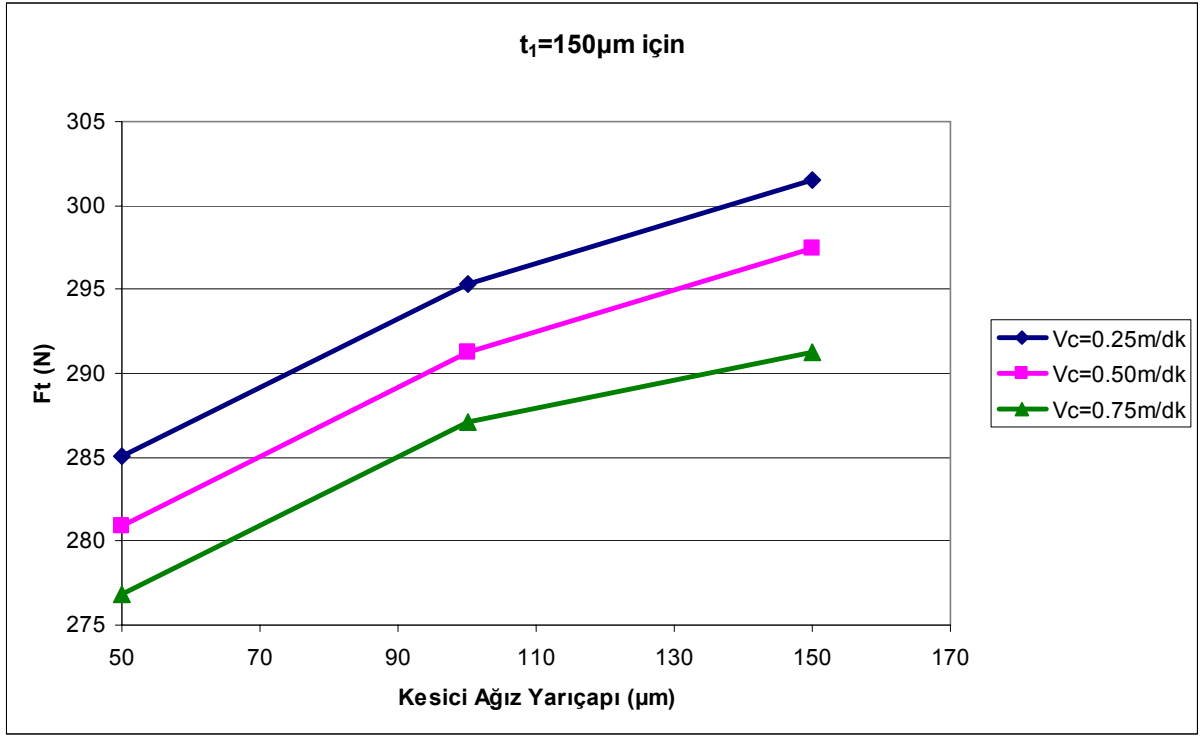
Şekil 4.50 Kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti (F_c) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 150\mu\text{m}$)



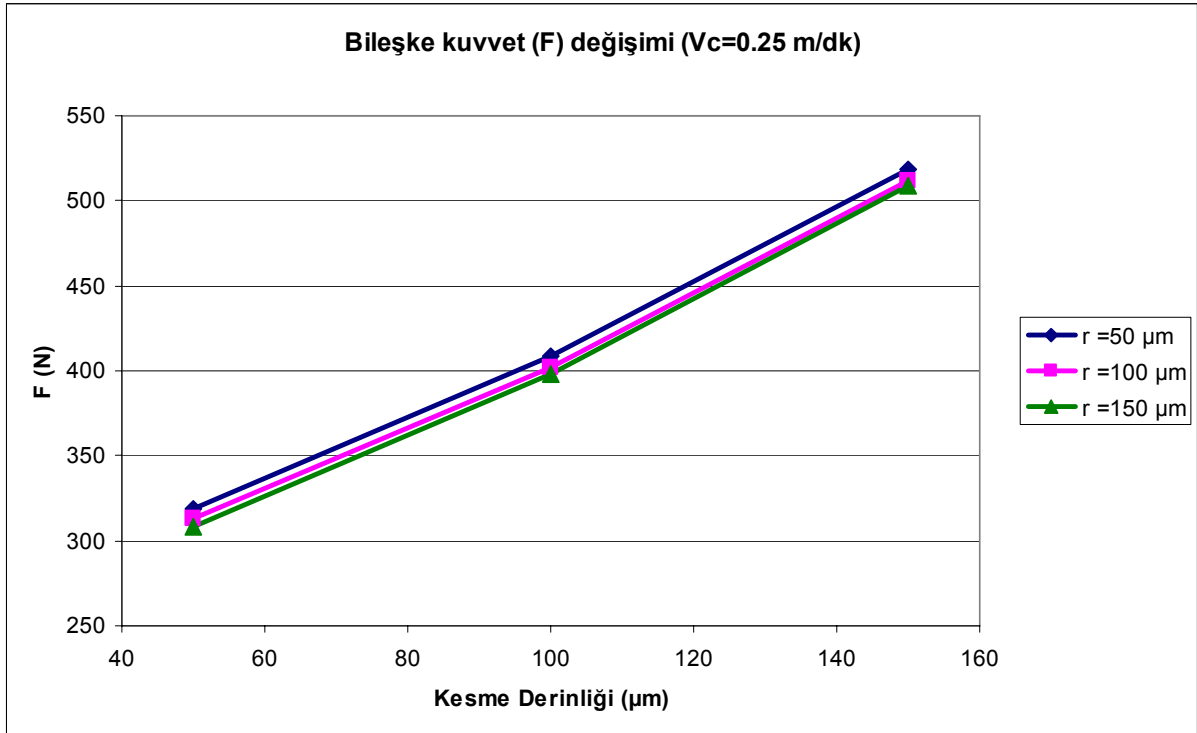
Şekil 4.51 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 50\mu\text{m}$)



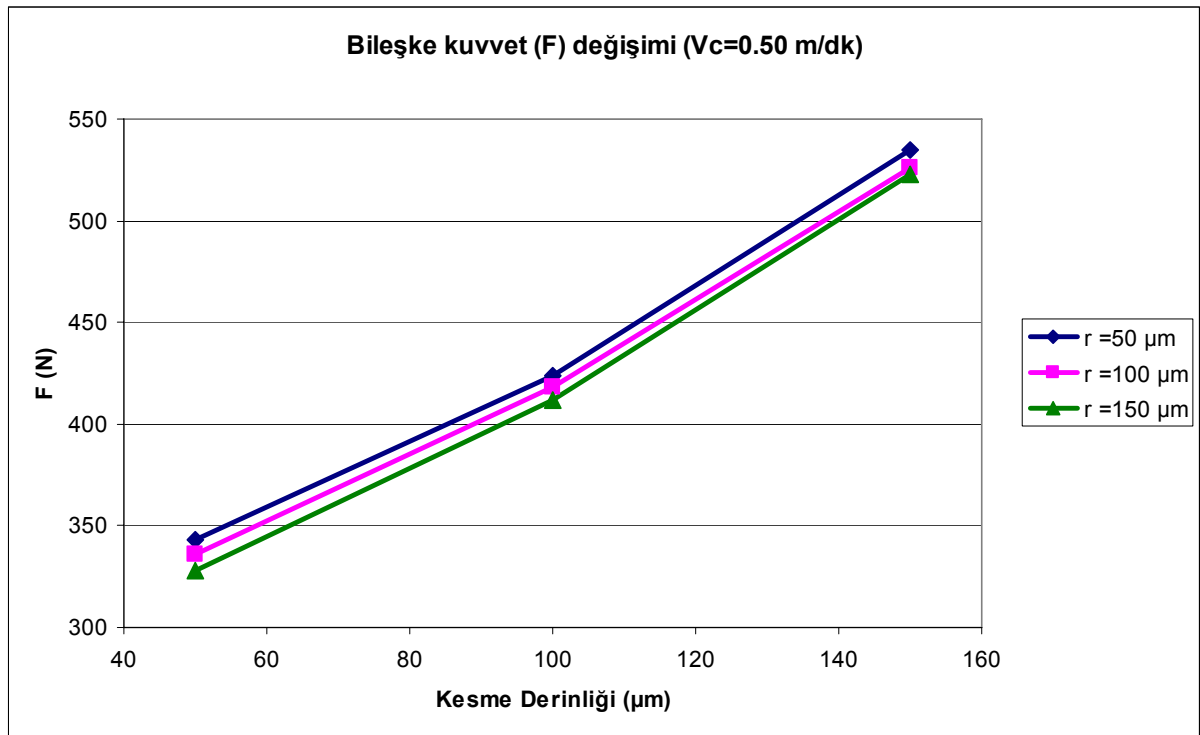
Şekil 4.52 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 100\mu\text{m}$)



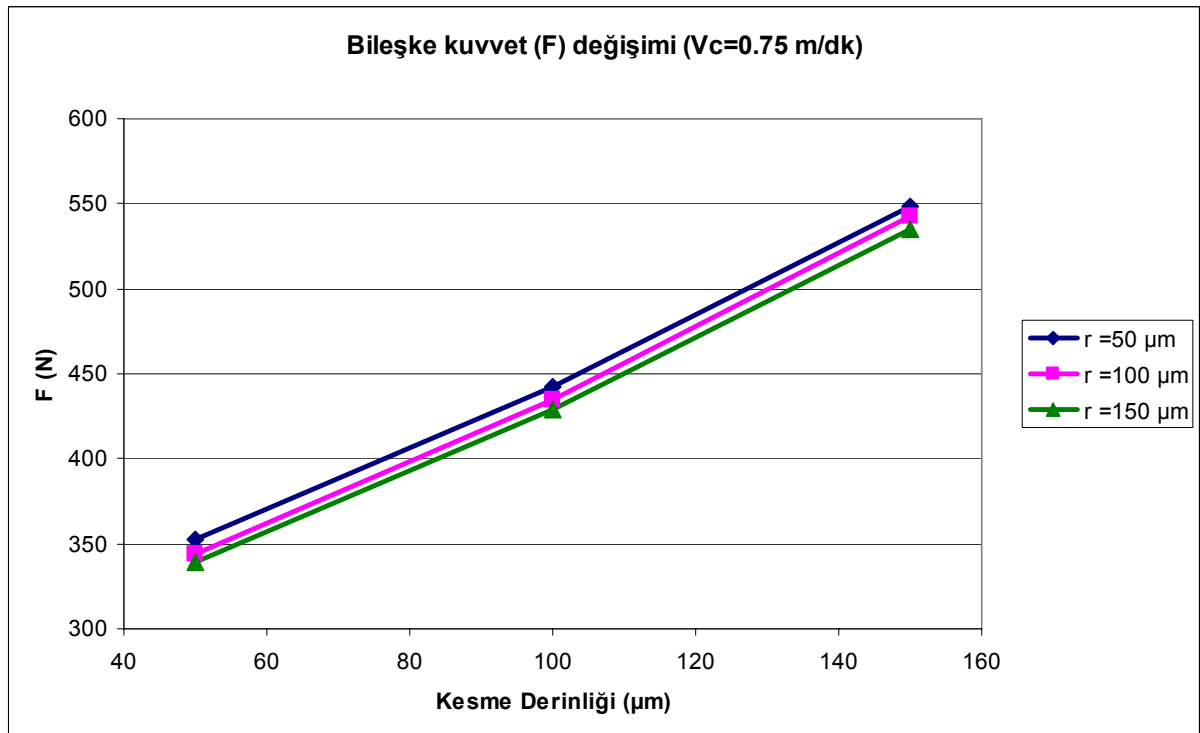
Şekil 4.53 Kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet (F_t) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $t_1 = 150\mu\text{m}$)



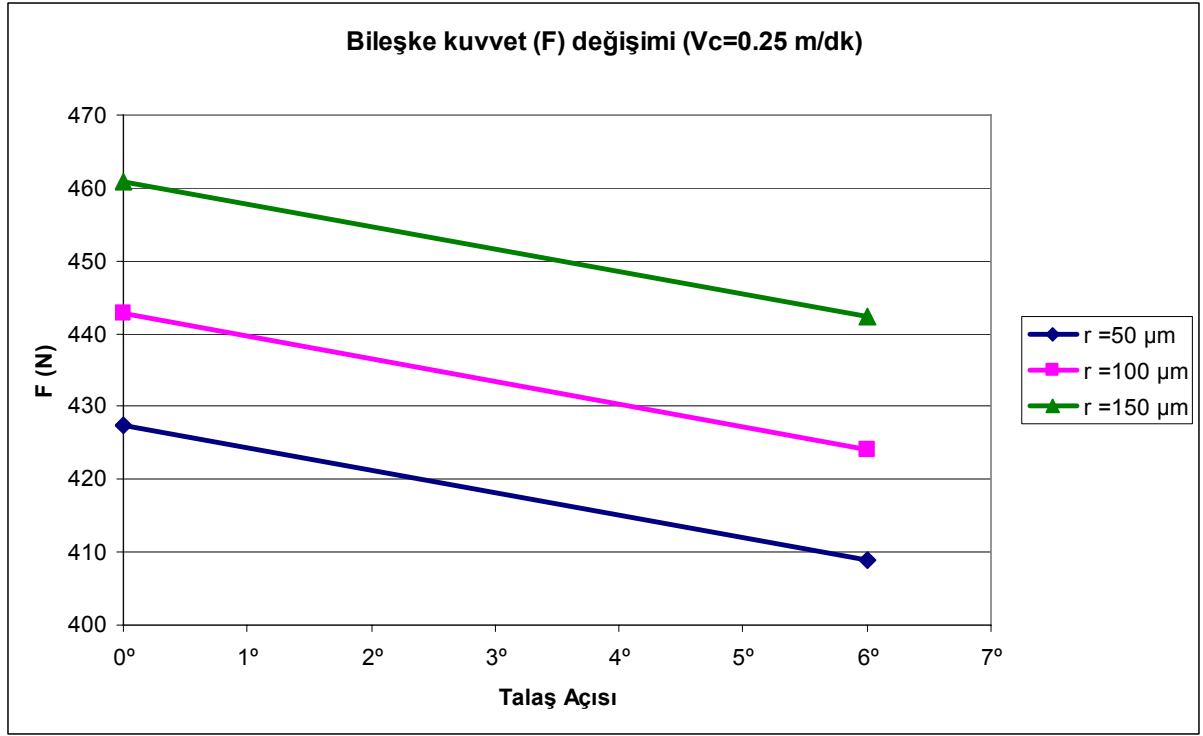
Şekil 4.54 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,25\text{ m/dak}$)



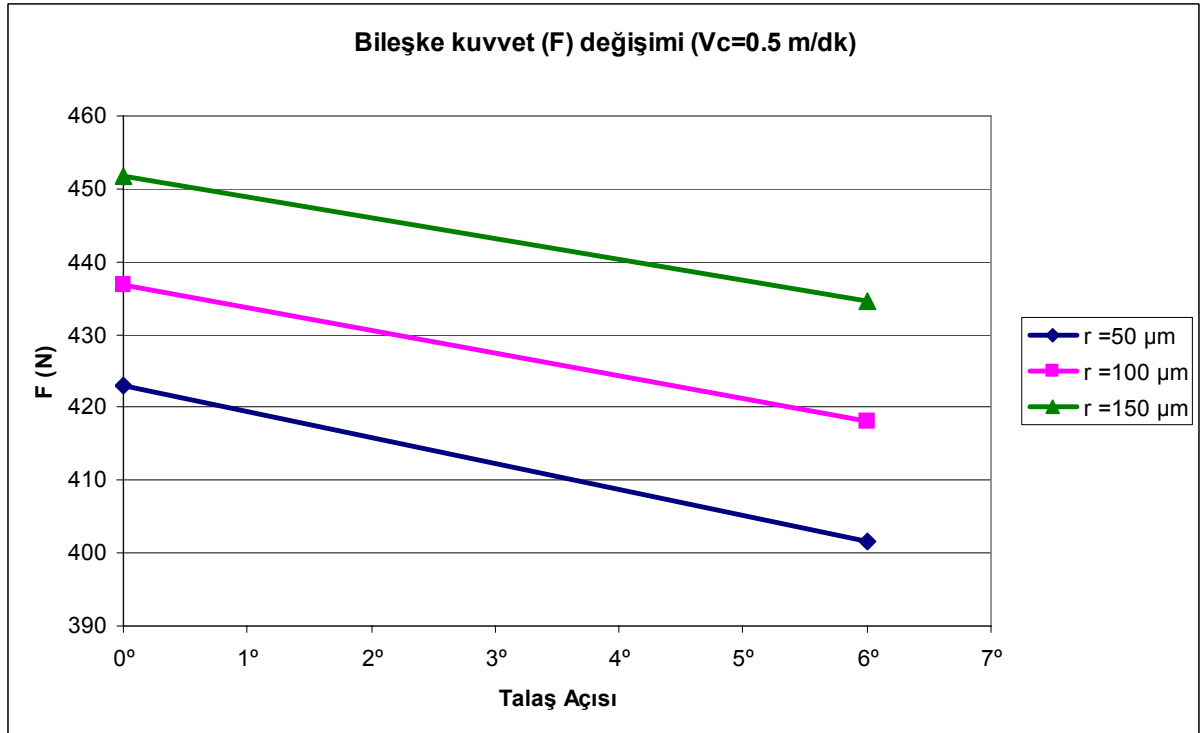
Şekil 4.55 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,50$ m/dak)



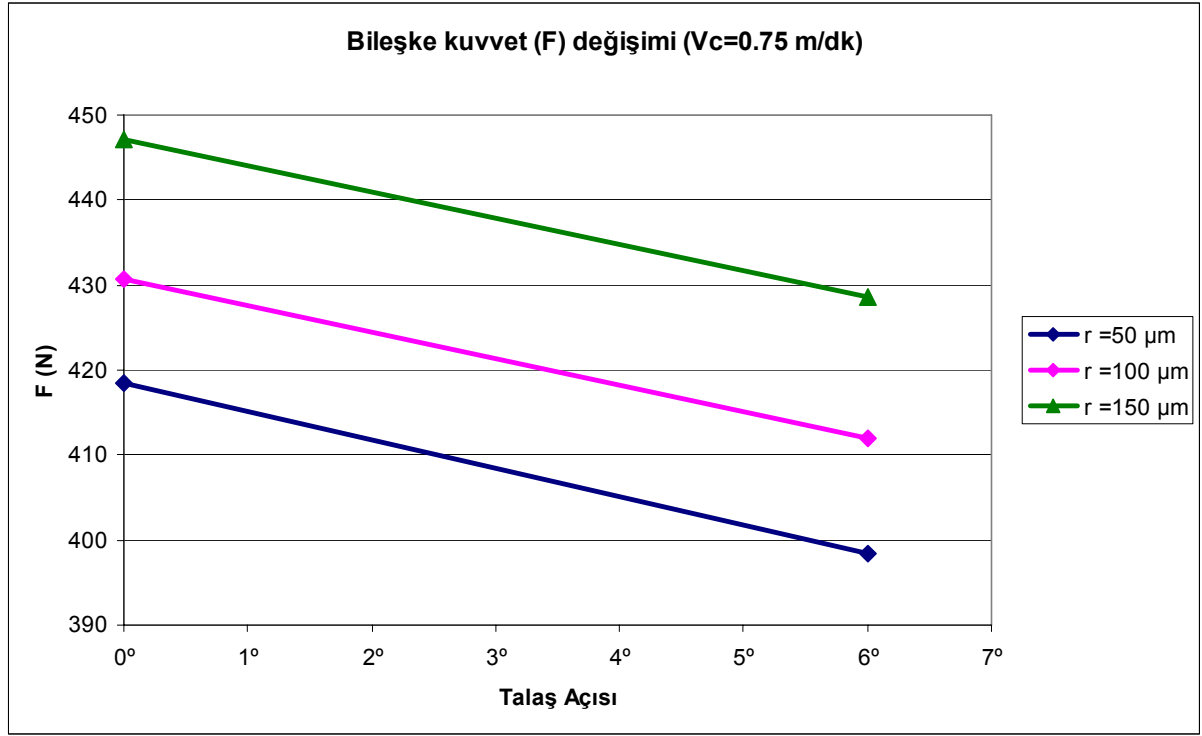
Şekil 4.56 Kesme derinliğine göre bileşke kuvvet (F) değişimi ($\gamma = 6^\circ$, $V_c = 0,75$ m/dak)



Şekil 4.57 Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1=100 \mu m$, $V_c = 0,25$ m/dak)



Şekil 4.58 Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1 = 100 \mu m$, $V_c = 0,50$ m/dak)



Şekil 4.59 Talaş açısıyla bileşke kuvvet (F) değişimi ($t_1 = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$)

Grafiklerin incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Tüm kesme hızları için kesici ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvveti artmaktadır (Şekil 4.39, 4.40, 4.41).
- Aynı kesme hızlarında farklı kesme derinlikleri için kesici ağız yarıçapına göre kesme kuvveti değişimi benzerdir (Şekil 4.39, 4.40, 4.41).
- Tüm kesme hızları için kesici ağız yarıçapı arttıkça radyal kuvvet artmaktadır (Şekil 4.42, 4.43, 4.44).
- Farklı kesme derinlikleri için kesici ağız yarıçapına göre radyal kuvvet değişimi tüm kesme hızları için benzerdir (Şekil 4.42, 4.43, 4.44).
- Kesme derinliği arttıkça tüm kesici ağız yarıçapları için bileşke kuvvet artmaktadır. Bu durum tüm kesme hızları için benzerdir (Şekil 4.45, 4.46, 4.47).
- Talaş açısı 6° için kesici ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvveti artmaktadır (Şekil 4.48, 4.49, 4.50).
- Talaş açısı 6° için kesici ağız yarıçapı arttıkça radyal kuvvet artmaktadır (Şekil 4.51, 4.52, 4.53).

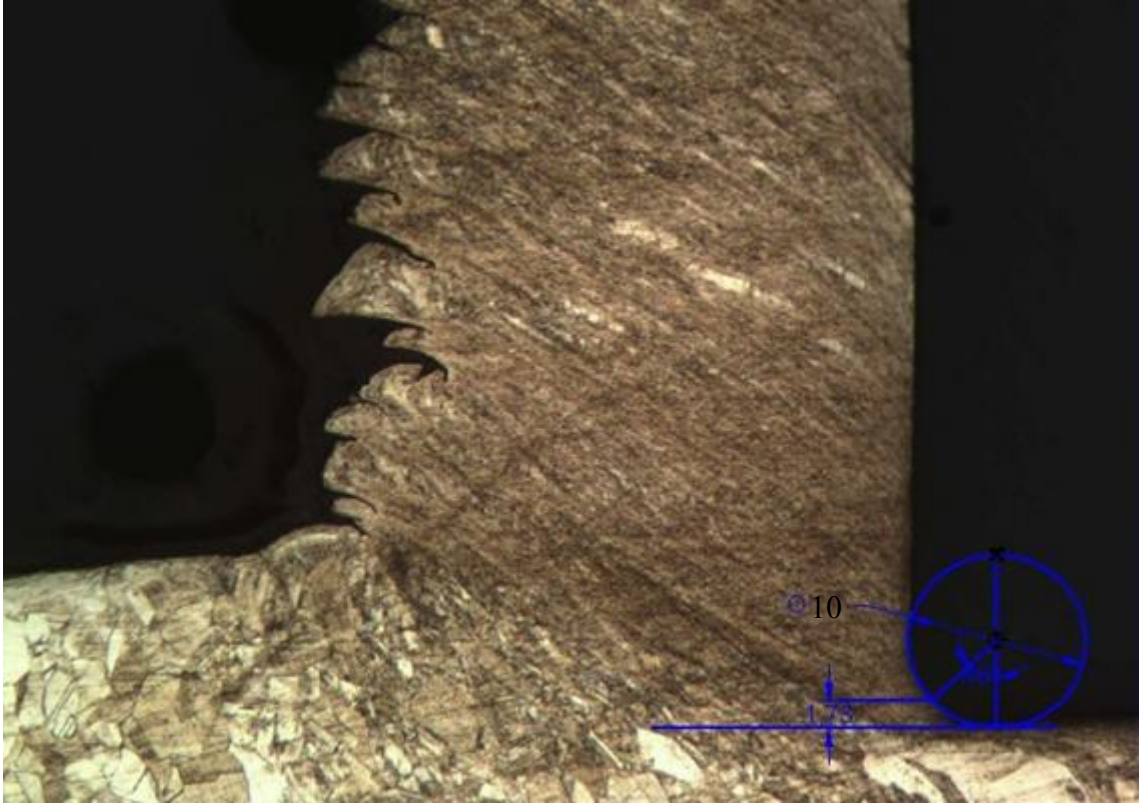
- Talaş açısı 6° için kesme derinliği arttıkça tüm kesici ağız yarıçapları için bileşke kuvvet artmaktadır. Bu durum tüm kesme hızları için benzerdir (Şekil 4.54, 4.55, 4.56).
- Talaş açısı pozitif olarak attıkça bileşke kuvvet (F) değeri azalmaktadır (Şekil 4.57, 4.58, 4.59).
- Farklı kesme hızlarında talaş açısı arttıkça bileşke kuvvet değişimi benzerdir (Şekil 4.57, 4.58, 4.59).
- Farklı kesme derinliklerinde talaş açısı arttıkça bileşke kuvvette azalma gözlenmiştir.
- Farklı talaş açıları ve kesici ağız yarıçaplarında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler azalmaktadır.

4.5.2.1 Kesici Ağız Yuvarlatılmış Takımlarla Talaş Kaldırmada Malzeme Akışı

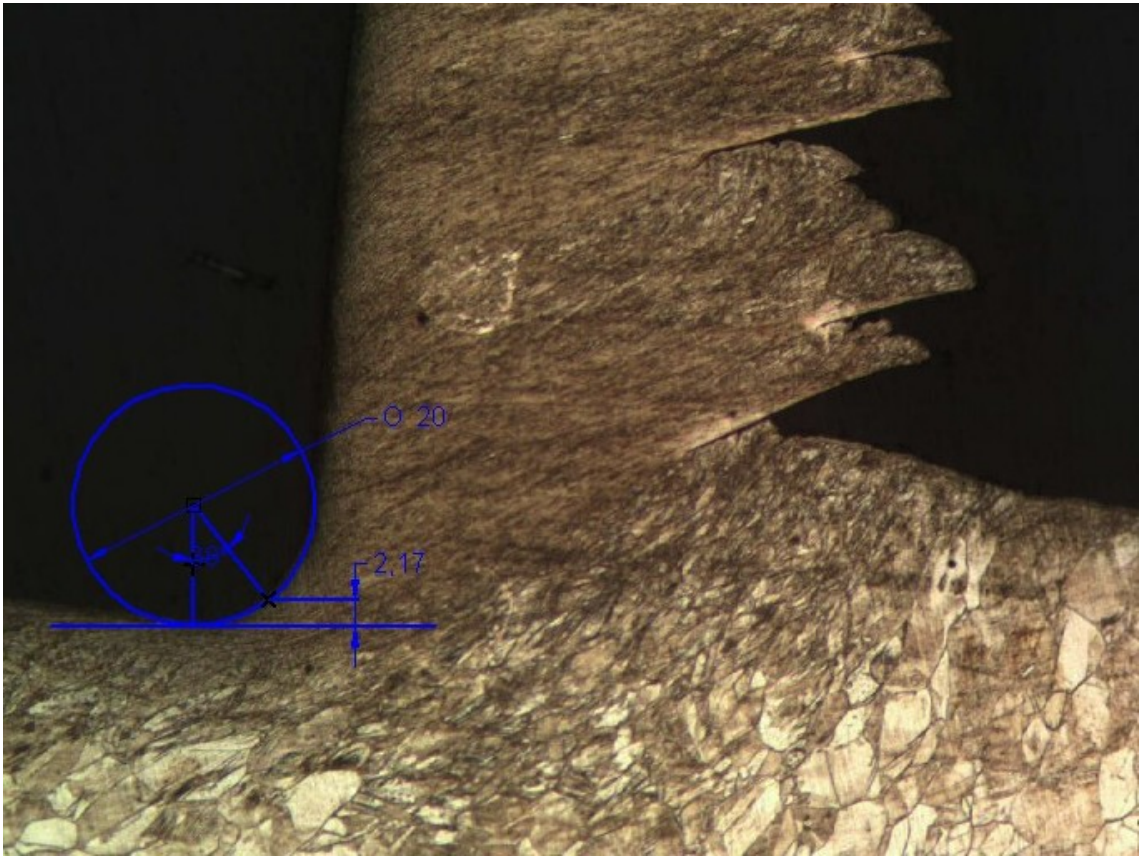
Malzeme akışını belirleyen ayrılma noktasıdır. Kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinde ayrılma noktası ölü bölgenin başladığı K noktasıdır. K noktasının r ve t_1 değerine göre değişimi incelenmiştir. Deneysel çalışmaların farklı kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliklerindeki sonuçları üzerinden ölçü alınarak K noktasının iş parçası yüzeyine olan a mesafesi belirlenmiştir.

Şekil 4.60'da kesici ağız yuvarlatılmış takım için şematik gösterim mevcuttur. Burada ξ ayrılma açısıdır. Ayrılma açısı, ölü bölgede bulunan ayrılma noktasından O noktasına çizilen doğru ile D noktasının O noktasına çizilen doğruların yaptığı açıdır. Kesme derinliği t_1 , ayrılma noktasının yüksekliği ise a 'dır. Ayrılma noktası yüksekliği ve ayrılma açısı deney sonuçlarında elde edilen görüntülerden ölçülerek bulunmuştur.

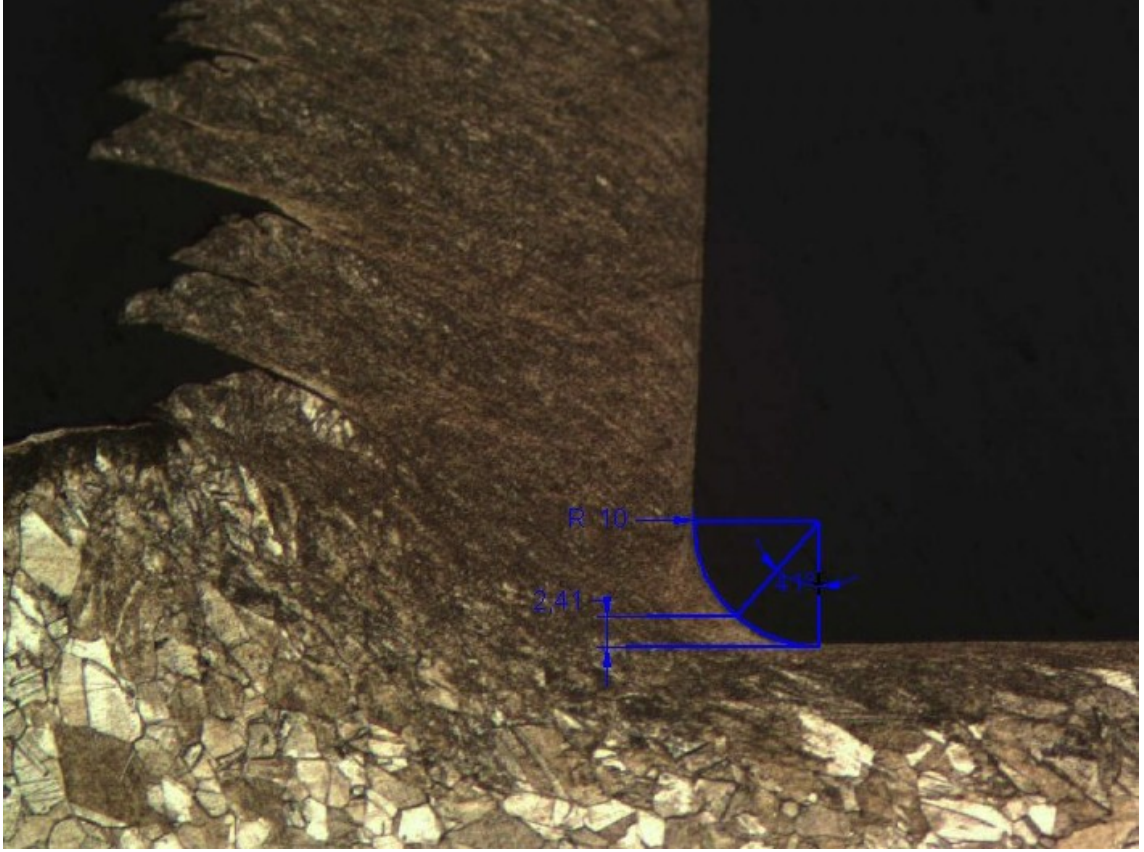
Şekil 4.61, 4.62, 4.63, 4.64 ve 4.65'de farklı deneylere göre ölçüm sonuçları görülmektedir. ξ ayrılma açısı 38° ile 46° arasında değişmektedir. Şekillerdeki ölçüler kullanılarak r/t_1 oranına göre ξ açısının değişimi belirlenmiştir. Şekil 4.66'da ξ ayrılma açısının değişim eğrisi verilmiştir. ξ ayrılma noktası açısının r/t_1 'a göre değişimi belirlendi. Eğrinin hareketli ortalaması 0,9985'dir. Deneysel verilerle elde edilen ξ ayrılma açısı girilerek Eşitlik 4.1 bulundu. K noktasının iş parçası yüzeyine olan a mesafesi Eşitlik (4.2) gibi yazılır. ξ yerine Eşitlik 4.1 konulursa, a değeri Eşitlik 4.3'deki gibi bulunur. K noktası tanımlanması talaşın akışı için önemli olup deney verileriyle belirlenmiştir. K noktasının bulunması için r ve t_1 değerlerinin bilinmesi yeterlidir.



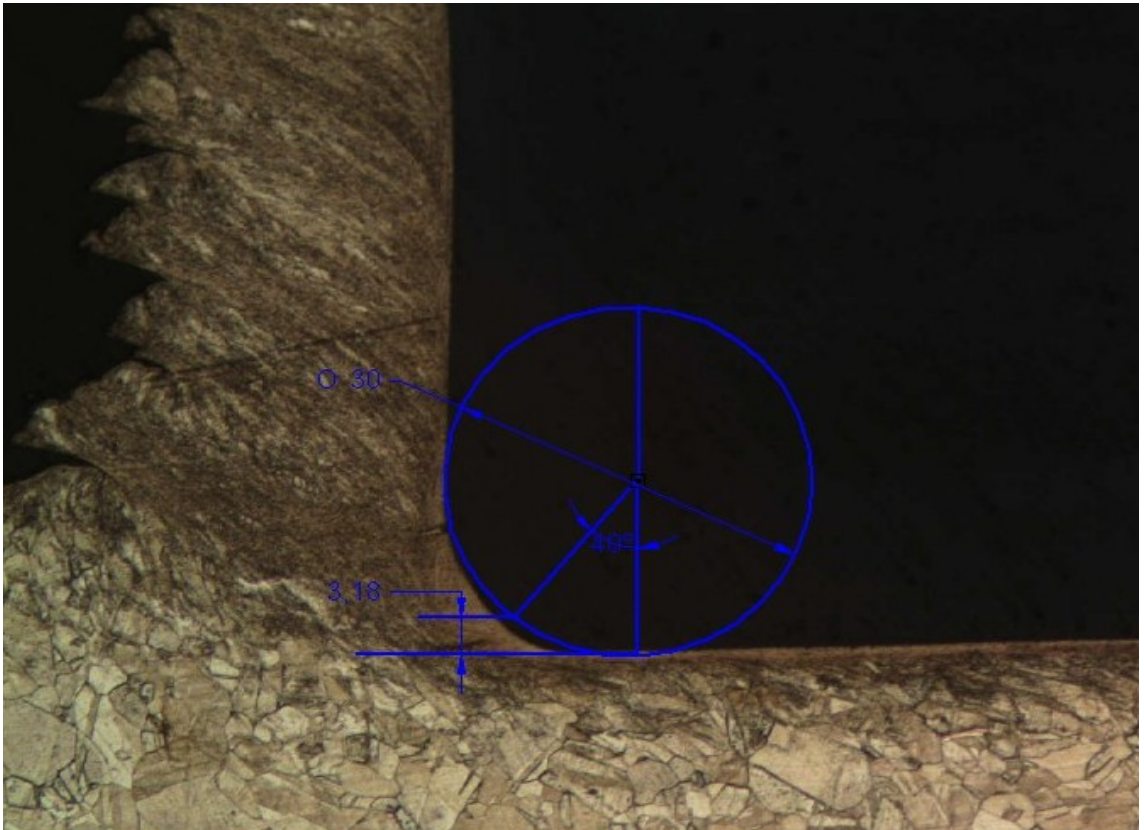
Şekil 4.62 Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 50 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25 \text{ m/dak}$, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)



Şekil 4.63 Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)



Şekil 4.64 Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)

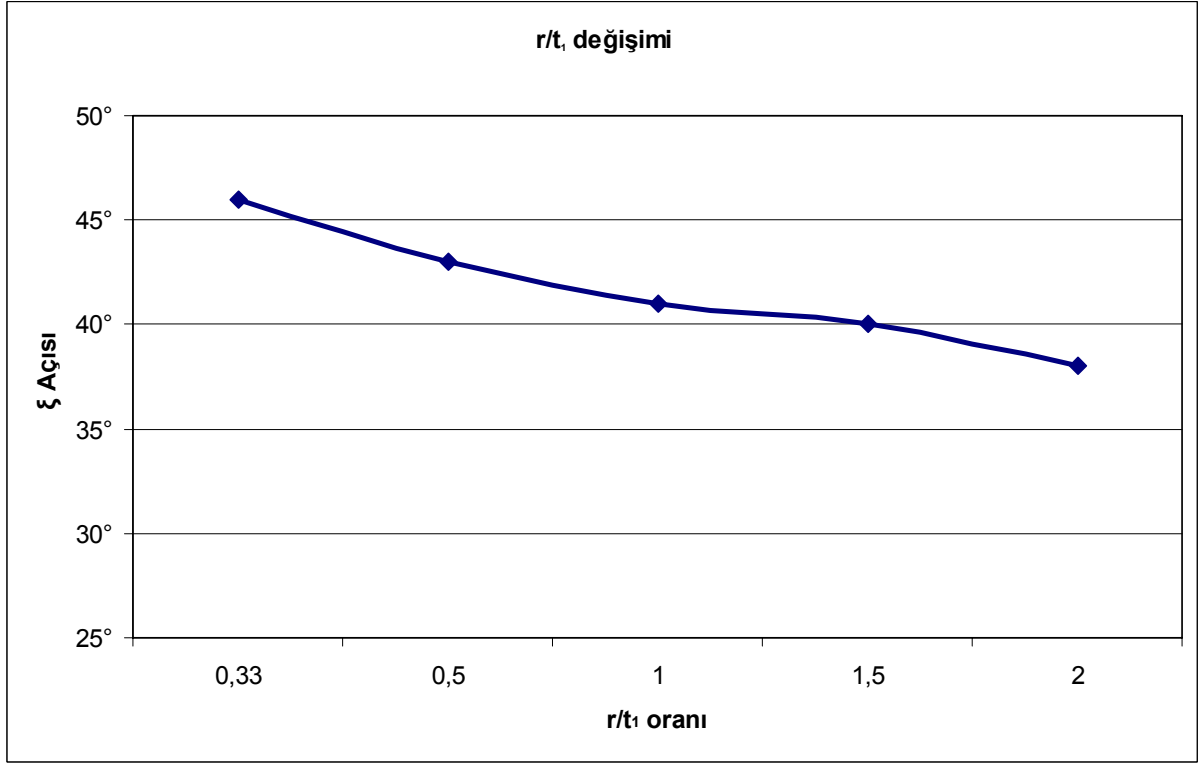


Şekil 4.65 Ayrılma noktasının belirlenmesi ($\gamma=0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75 \text{ m/dak}$, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)

$$\xi = -0,167.\left(\frac{r}{t_1}\right)^3 + 1,71.\left(\frac{r}{t_1}\right)^2 - 7,1.\left(\frac{r}{t_1}\right) + 51,6 \quad (4.1)$$

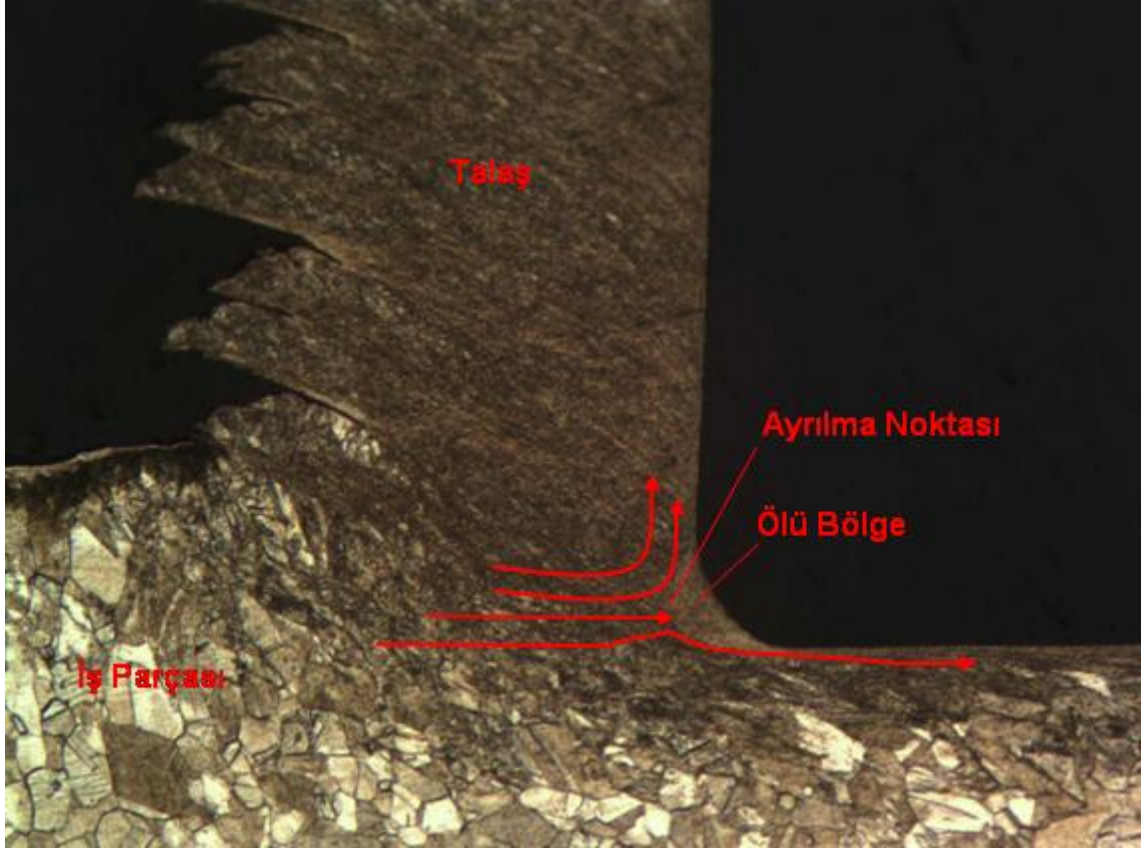
$$a = r.(1 - \cos \xi) \quad (4.2)$$

$$a = r.\left[1 - \cos\left(-0,167.\left(\frac{r}{t_1}\right)^3 + 1,71.\left(\frac{r}{t_1}\right)^2 - 7,1.\left(\frac{r}{t_1}\right) + 51,6\right)\right] \quad (4.3)$$



Şekil 4.66 ξ ayrılma noktası açısının r/t₁'a göre değişimi

Şekil 4.67’de kesici ağzı yuvarlatılmış takımın talaş kaldırma malzeme akışı görülmektedir. Malzemenin bir kısmı ölü bölgede bulunan ayrılma noktasından kesici takım altına doğru akacak bir kısmı ise ayrılma noktasından yukarı doğru akacaktır. Talaş kaldırma esnasında kesme derinliğinin belirlediği kodun altındaki malzeme ise serbest yüzeyin altına doğru akar. Bu malzeme akışı ayrılma noktasına gelmeden yükselme gösterir daha sonra ölü bölgenin altından aşağıya doğru akar (Şekil 4.67).



Şekil 4.67 Kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmada malzeme akışı

5. YENİ KAYMA HATTI MODELLERİNİN DENEYSEL VERİLERLE ANALİZLERİ

Çabuk duruş cihazı ile bir anlık talaş, iş parçası malzemesi, kayma bölgesi ve ölü bölge incelendi. Bölüm 3’de belirtilen kayma hattı modellerinin deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere uygulaması yapıldı.

Yapılan modellemelerin uygulamaları iki bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde negatif talaş açılı takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinin matematiksel bağıntılarının deneysel sonuçlara uygunluğu incelendi. İkinci bölümde ise, kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmaya ait yeni kayma hattı modelinin matematiksel bağıntıları kullanılarak ölü bölge değişimi, kayma hattı bölgeleri ve kayma hattı açıları irdelendi.

5.1 Negatif Talaş Açılı Takım İle Talaş Kaldırmaya Ait Ölü Bölge ve Kayma Hattı Açılarının Değişimi

Hill (1954) teorisine göre, talaş açılarının her bir değeri için, rijit bölgelerde kabul edilmiş gerinme alanlarının uzantılarının çözümü, sadece kayma hattı modeliyle sınırlı bir bölgede yapılabilir. Kabul edilmiş bir çözümü ele alırsak, AK kayma hattı ile serbest yüzey arasındaki her bir yüzey için Şekil 3.4’de belirtilen α_1 ve α_2 açılarının belli değeri için talaş kaldırma gerçekleşebilir. Buna göre aşağıdaki eşitliklerdeki şartların oluşması gerekmektedir.

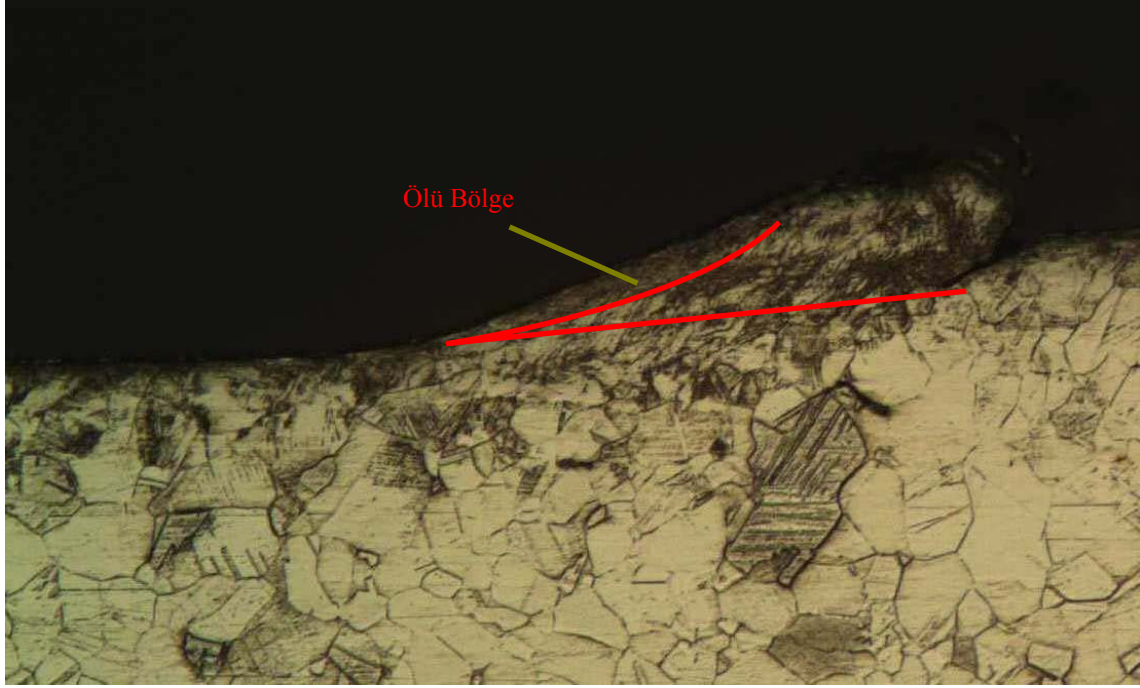
$$\frac{\pi}{2} - 1 - 2\alpha_1 \leq \frac{P_A}{k} \leq 2\alpha_1 - \frac{3\pi}{2} + 1 \quad (5.1)$$

$$2 \cdot \cos\left(\alpha_2 - \frac{\pi}{4}\right) - 1 \leq \frac{P_A}{k} \leq 1 + 2\left(\alpha_2 - \frac{\pi}{4}\right) \quad (5.2)$$

Yeni oluşturulan kayma hattı modeli için Eşitlik (5.1) ve (5.2)’yi sağlayacak şekilde farklı negatif talaş açısı ve k.t₁.w değerlerinde, kayma hattı açılarının $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \eta)$ bulunması gerekmektedir. Bunun için bir Math Cad programı yazıldı ve bu programdan yararlanılarak çözüm yapıldı. Bu program sayesinde değişken olarak γ talaş açısı, kayma hattı açıları $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \eta$, δ takım talaş arasındaki sürtünme ve ölü bölge açısı, kayma gerilmesi τ_k , hidrostatik basınç P_A ve k.t₁.w değerleri girilerek bulunan $F/k.t_1.w$ ile bilgisayar kontrollü

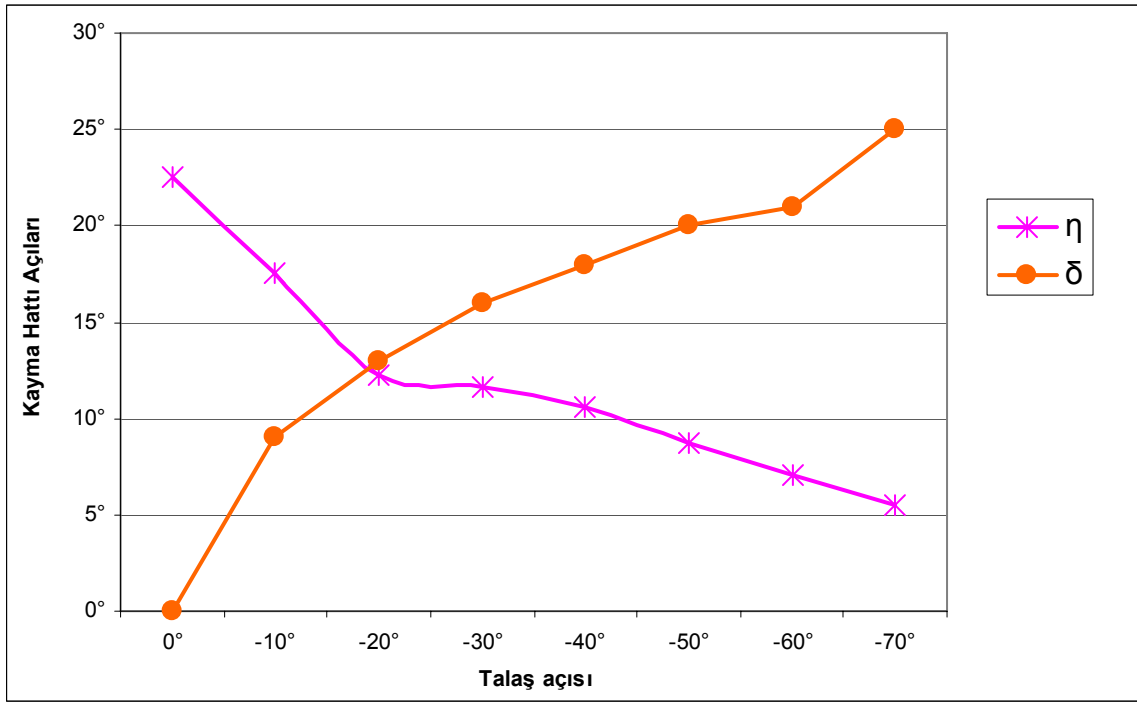
planyalama esaslı ani duruş cihazıyla elde edilen kuvvet değerleri eşitlenerek tüm değişkenler bulunmuştur. Değişkenlerin doğruluğu Eşitliklerin (5.1 ve 5.2) sağlanmasına bağlıdır.

Şekil 5.1’de mikroskopla inceleme sonucunda $\gamma = -70^\circ$ için bulunan ölü bölge görülmektedir.

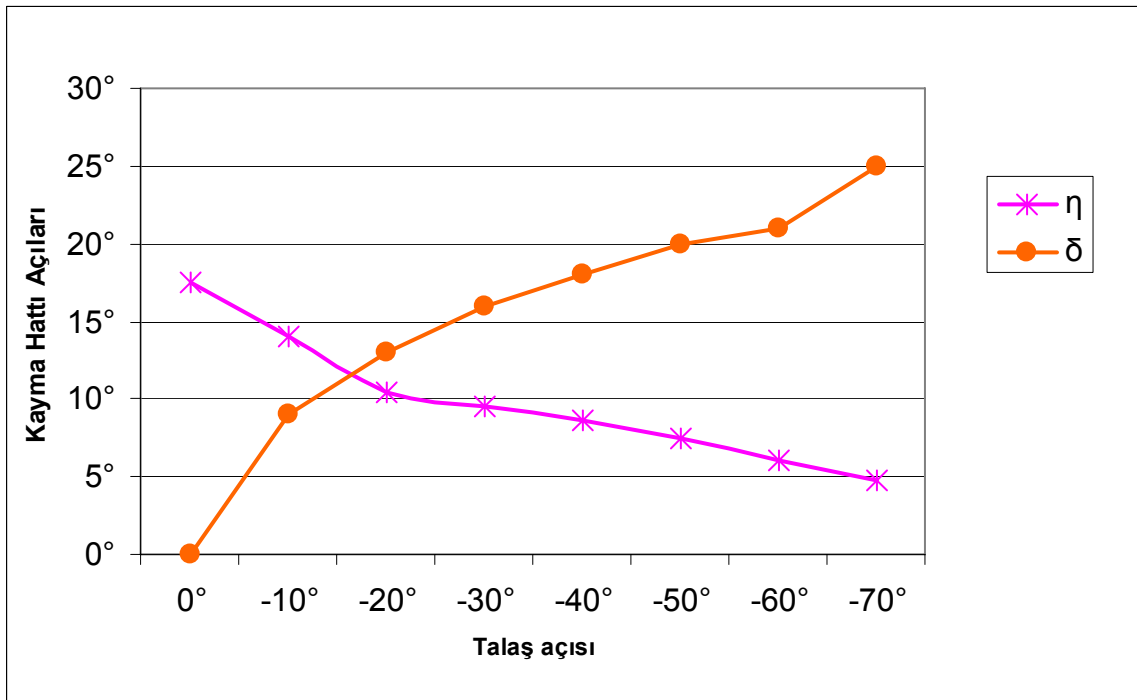


Şekil 5.1 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge
($t_1 = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5 \text{ m/dak}$, $\gamma = -70^\circ$)

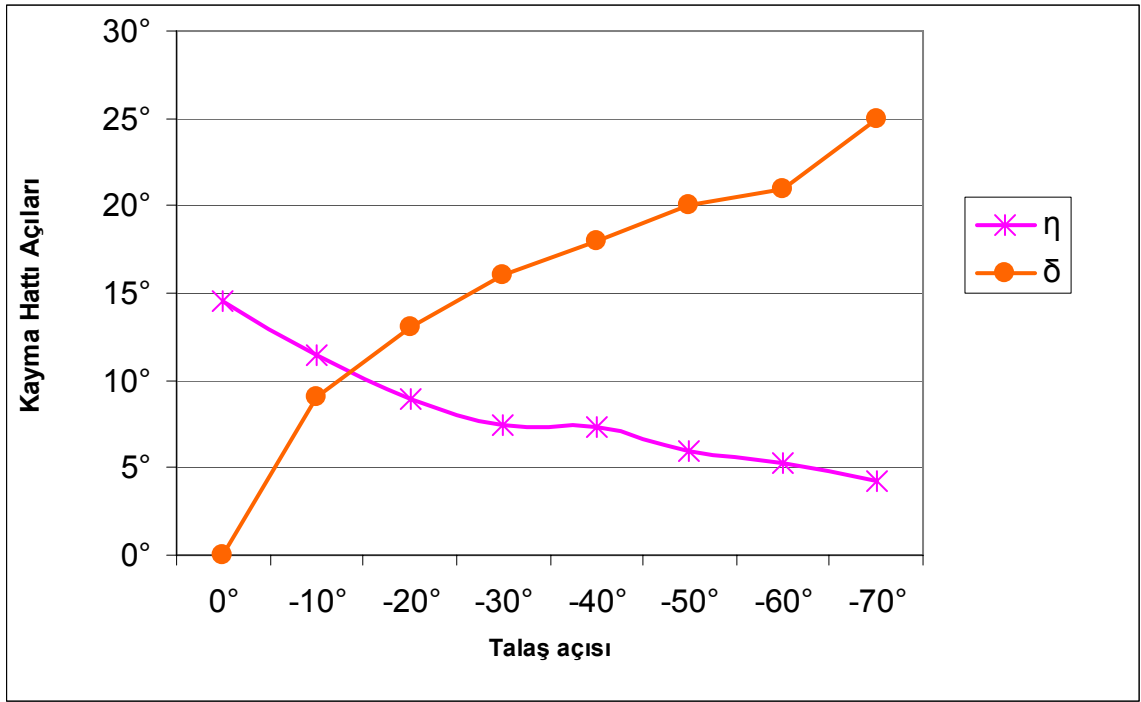
Yeni modelin tüm kayma hattı açıları Math Cad ile yazılan program ile bulunup modelleme tamamlanmıştır. Kayma hattı açılarının değişimleri Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7’de gösterilmiştir. Belirlenen kayma hattı açılarına göre MLD ölü bölgesinin alanı negatif talaş açısıyla değişmektedir. Talaş açısı 0° iken herhangi bir ölü bölgeye rastlanmamıştır. Negatif talaş açısı negatifleştikçe ölü bölgenin kayma hattı açısı artış göstermektedir. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4’de farklı k.t₁.w değerleri için η ve δ değişimleri görülmektedir. $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ kayma hattı açılarının tüm k.t₁.w değerleri için negatif talaş açısına göre değişimleri Şekil 5.5 verilmiştir. α_1 açısının negatif talaş açısına göre değişimi Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Ölü bölgeyi belirten δ kayma hattı açısı tüm k.t₁.w için aynı değerdedir.



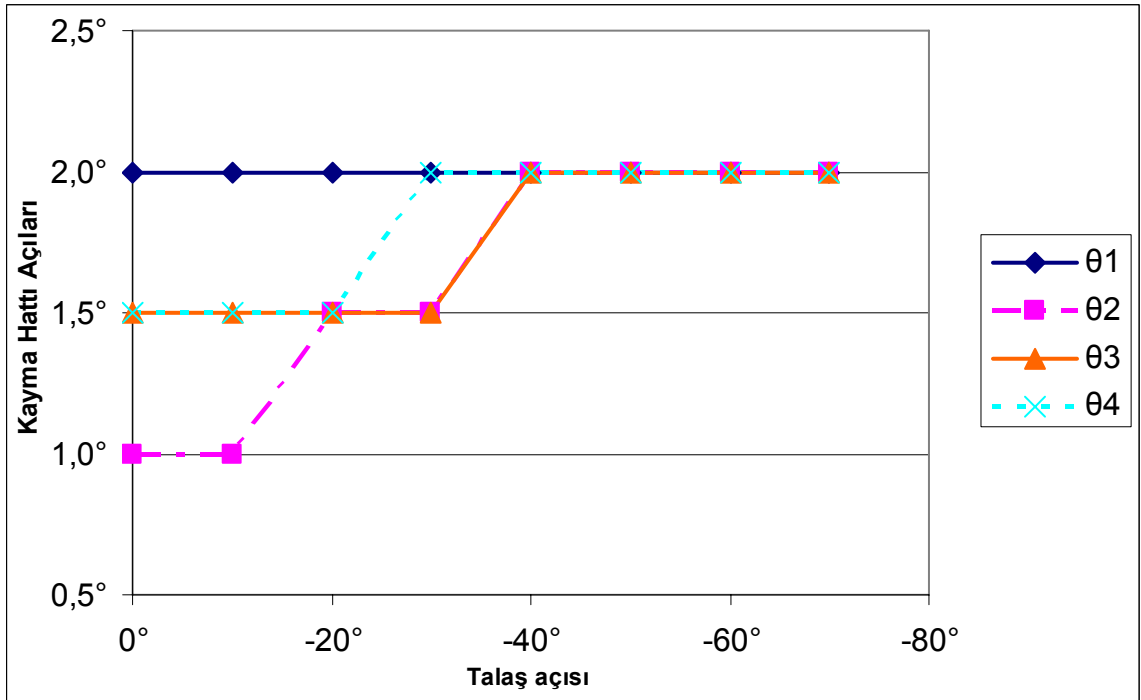
Şekil 5.2 Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi (k.t₁.w =12,45)



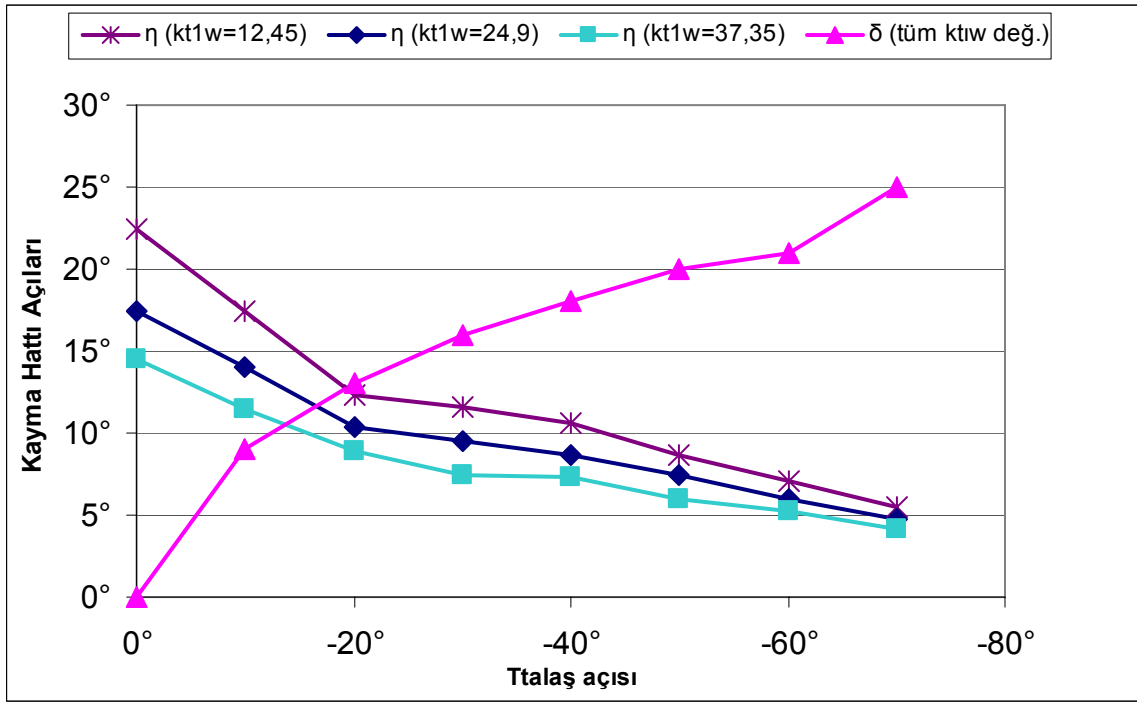
Şekil 5.3 Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi (k.t₁.w =24,9)



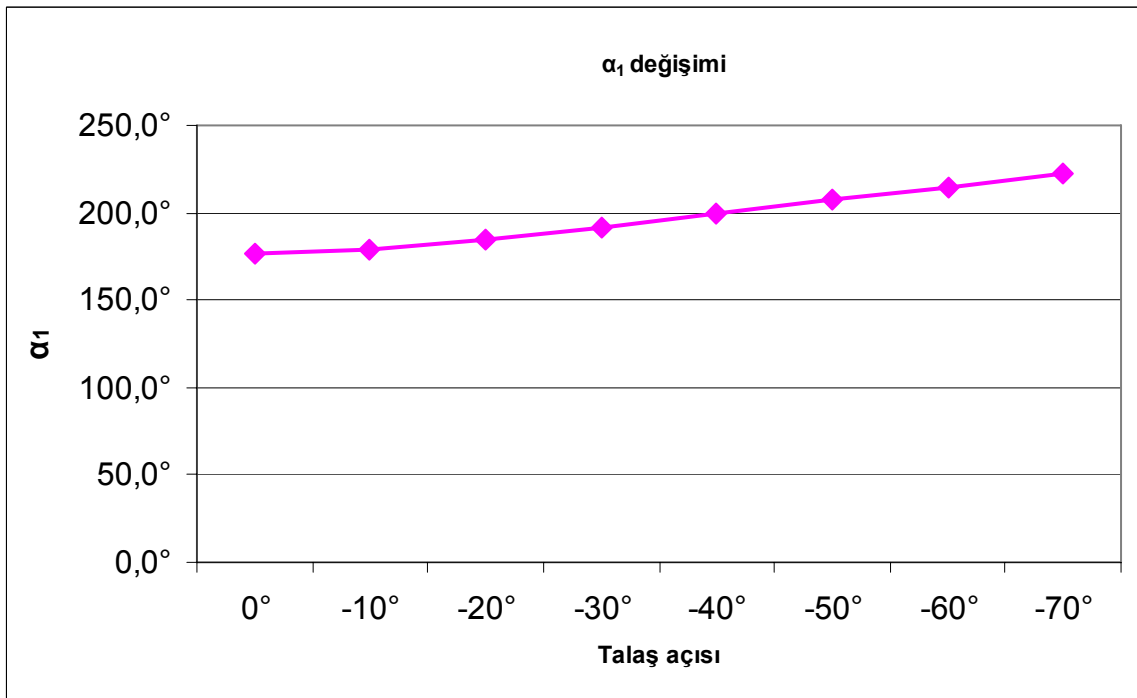
Şekil 5.4 Negatif talaş açısına göre kayma hattı açılarının değişimi ($k.t_1.w=37,35$)



Şekil 5.5 Negatif talaş açısına göre kayma hattı modeline ait açılarının değişimi ($k.t_1.w=12,45;24,9;37,35$)



Şekil 5.6 Negatif talaş açısına göre η, δ kayma hattı açılarının değişimi
(k.t1.w=12,45;24,9;37,35)



Şekil 5.7 Negatif talaş açısına göre α_1 kayma hattı açısının değişimi

δ kayma hattı açısı negatif talaş açısı mutlak değer olarak arttıkça artmaktadır. Diğer HNM bölgesini tanımlayan η kayma hattı açısı ise k.t1.w değerlerinde değişim göstermekte ve negatif talaş açısı negatifleştikçe azalmaktadır. $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ve θ_4 kayma hattı açılarının talaş açısına göre değişimleri tüm k.t1.w değerleri için değişimi aynıdır. θ_1 kayma hattı açısı

negatif talaş açısıyla sabit kalmaktadır. θ_2 ve θ_4 kayma hattı açıları -30° negatif talaş açısından sonra artış göstermektedir. θ_3 kayma hattı açısı ise negatif talaş açısı -40° 'den sonra atmaktadır. η kayma hattı açısı k.t₁.w değeri arttıkça azalmaktadır. Açı farkı negatif talaş açısı negatifleştikçe azalmaktadır (Şekil 5.6). İş parçası serbest yüzeyiyle AK kayma yüzeyi arasındaki α_1 açısının değişimi Şekil 5.7'de gösterilmiştir. α_1 açısı negatif talaş açısı mutlak değer olarak arttıkça artmaktadır.

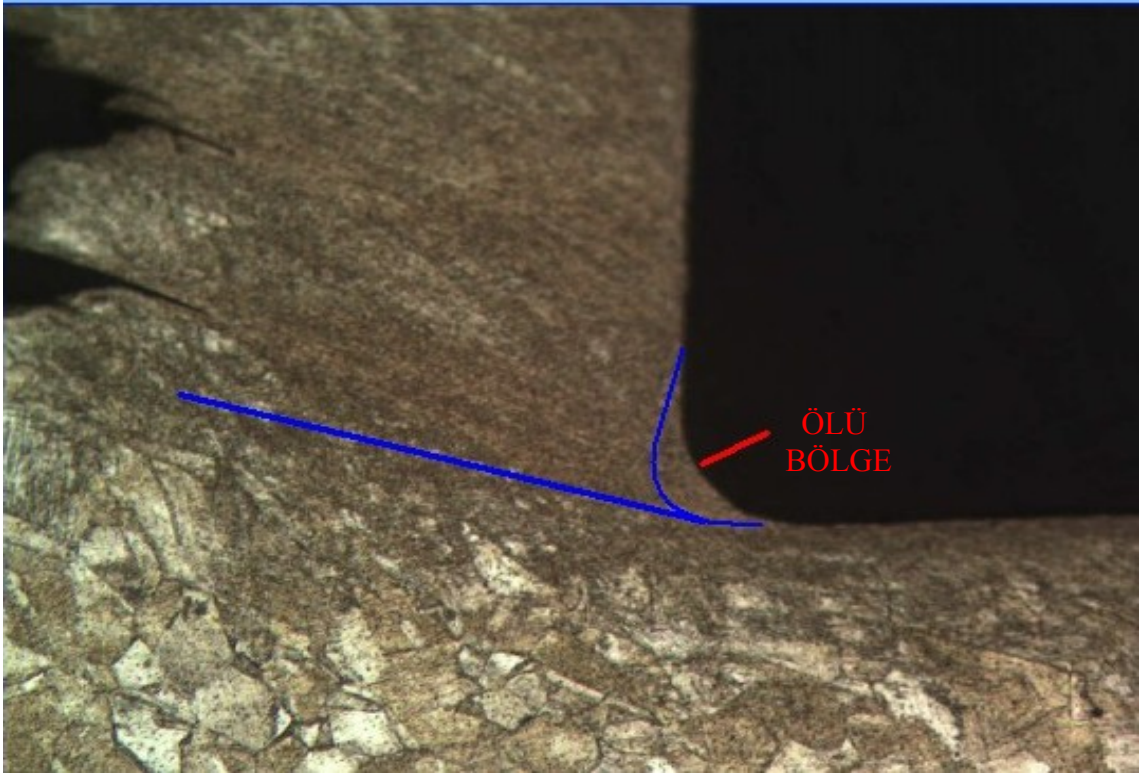
5.2 Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Takım İle Talaş Kaldırmaya Ait Ölü Bölge ve Kayma Hattı Açılarının Değişimi

Bölüm 5.1'de belirtildiği gibi kayma hattı çözümünde Hill (1954) teorisine göre kayma hattı modeliyle sınırlı bir bölgede çözüm yapılmıştır. AF kayma hattı ile serbest yüzey arasındaki her bir yüzey için Şekil 3.6'da belirtilen α_1 ve α_2 açılarının belli değeri için talaş kaldırma gerçekleşebilir. Buna göre Eşitlik 5.1 ve 5.2'deki şartların oluşması gerekmektedir.

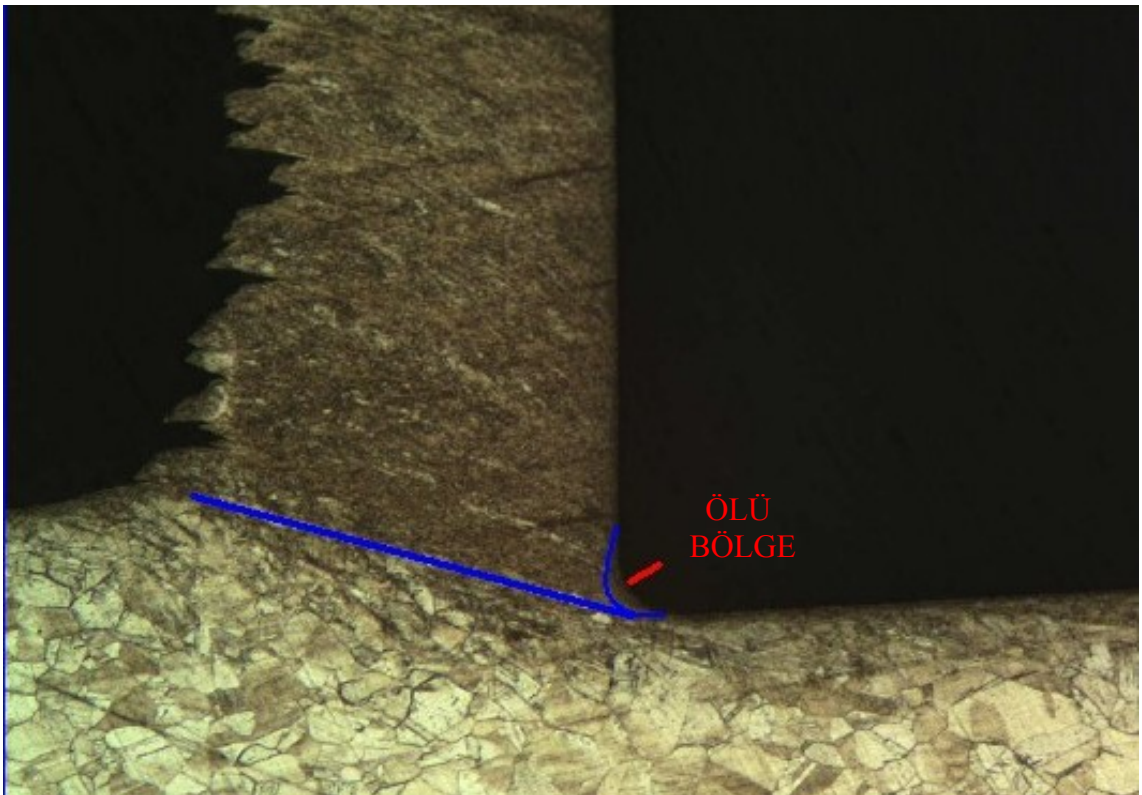
Kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmaya ait yeni oluşturulan kayma hattı modeli için Eşitlik (5.1) ve (5.2)'yi sağlayacak şekilde farklı kesici ağız yarıçapları ve k.t₁.w değerlerinde, kayma hattı açılarının $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \eta_1, \eta_2, \psi)$ bulunması gerekmektedir. Kayma hattı açılarının bulunabilmesi için Math Cad ile yazılan program ile çözüm yapıldı. Bu program sayesinde değişken olarak r kesici ağız yarıçapı, kayma hattı açıları $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \eta_1, \eta_2, \psi$, δ takım talaş arasındaki sürtünme ve ölü bölgedeki $H\hat{K}D$ açısı, kayma gerilmesi τ_k , hidrostatik basınç P_A ve k.t₁.w değerleri girilerek bulunan $F/k.t_1.w$ ile bilgisayar kontrollü planyalama esaslı talaş kaldıran çabuk duruş cihazıyla elde edilen kuvvetler eşitlenerek tüm değişkenler bulunmuştur.

Deney numunelerinin mikroskopla incelenmesi sonucunda tüm kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için modelde görülen ölü bölgeye rastlanmıştır. Şekil 5.8 ile Şekil 5.21 arasında farklı kesici ağız yarıçapı, kesme derinliği ve kesme hızları için planyalama esaslı bilgisayar kontrollü çabuk duruş cihazıyla ani duruş sonrası elde edilen görüntüler verilmektedir.

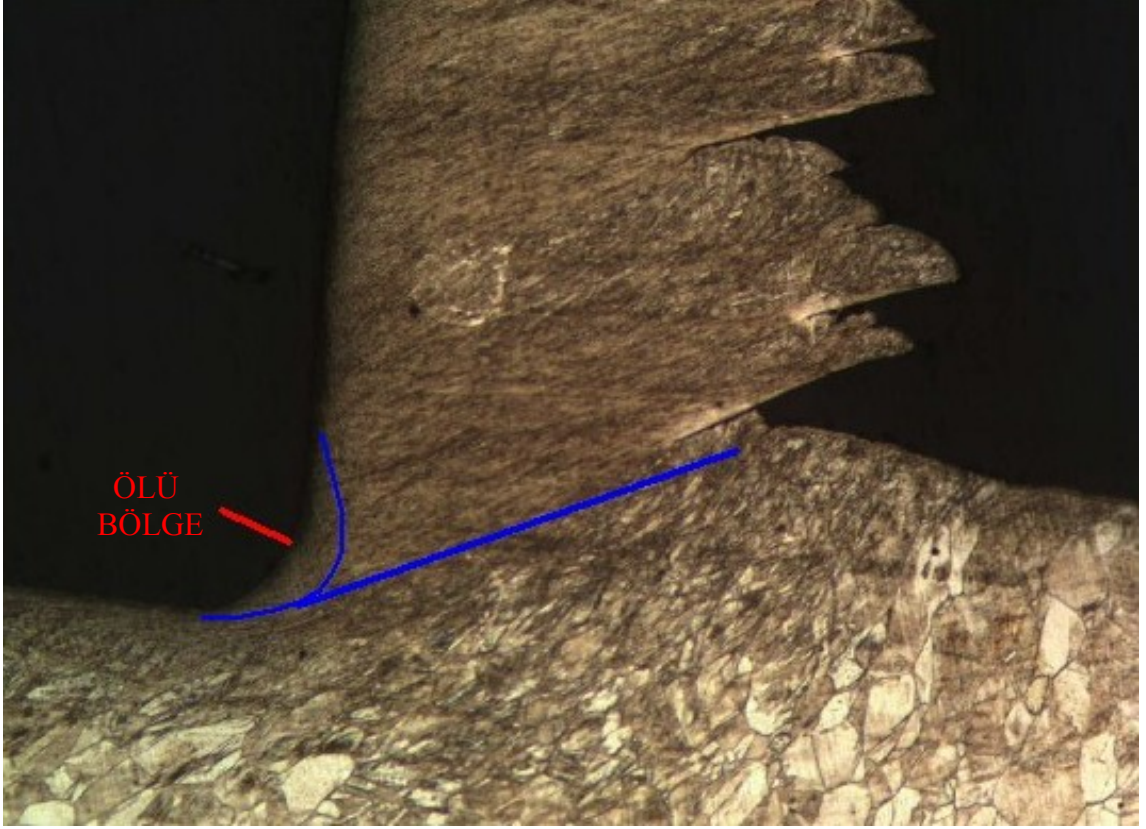
Şekil 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12'de ölü bölge ve kayma düzlemi çizilerek gösterilmiştir. Ani duruşla elde edilen tüm resimlerde ölü bölge ve kayma düzlemi net olarak görülmektedir.



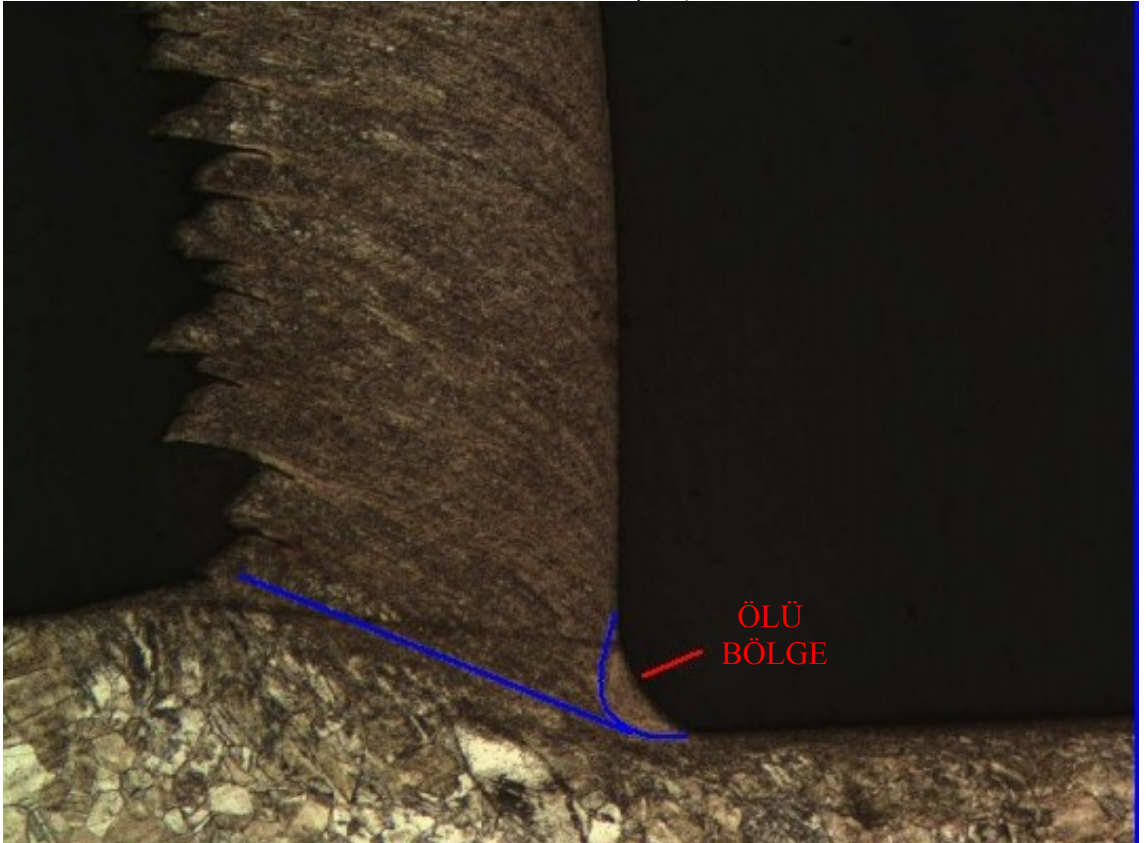
Şekil 5.8 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



Şekil 5.9 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



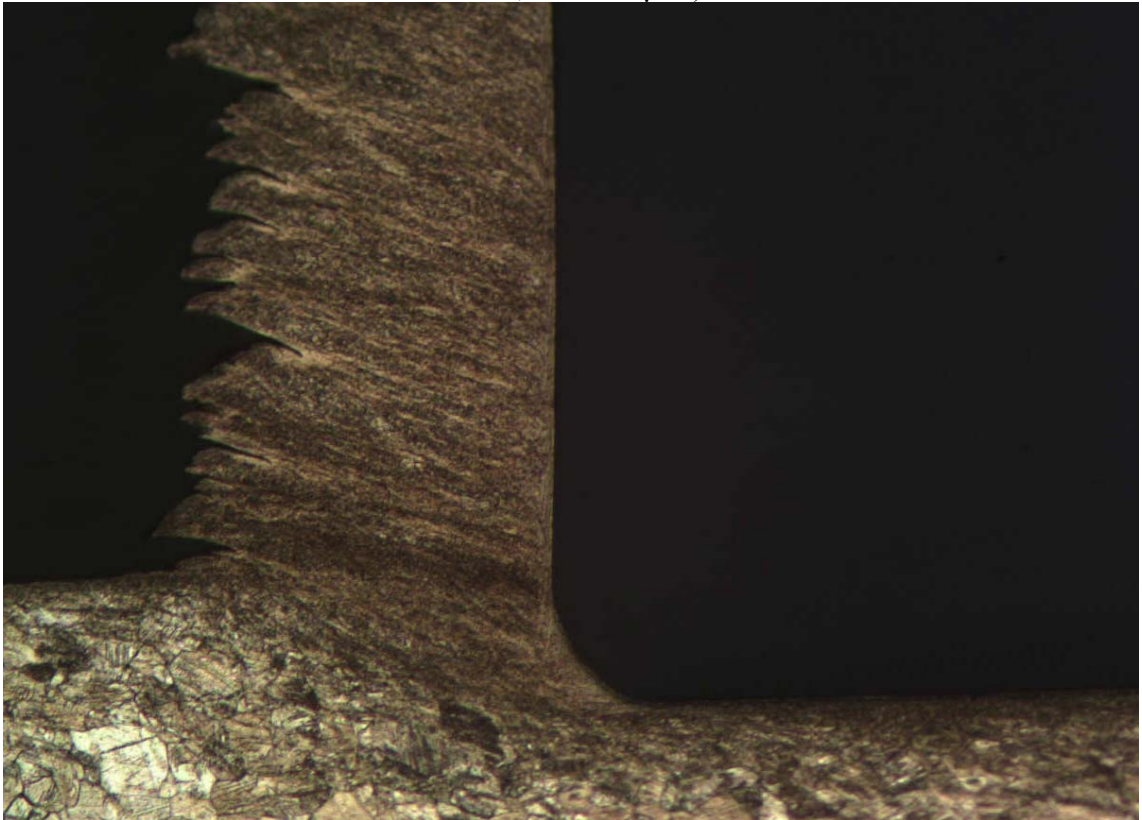
Şekil 5.10 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)



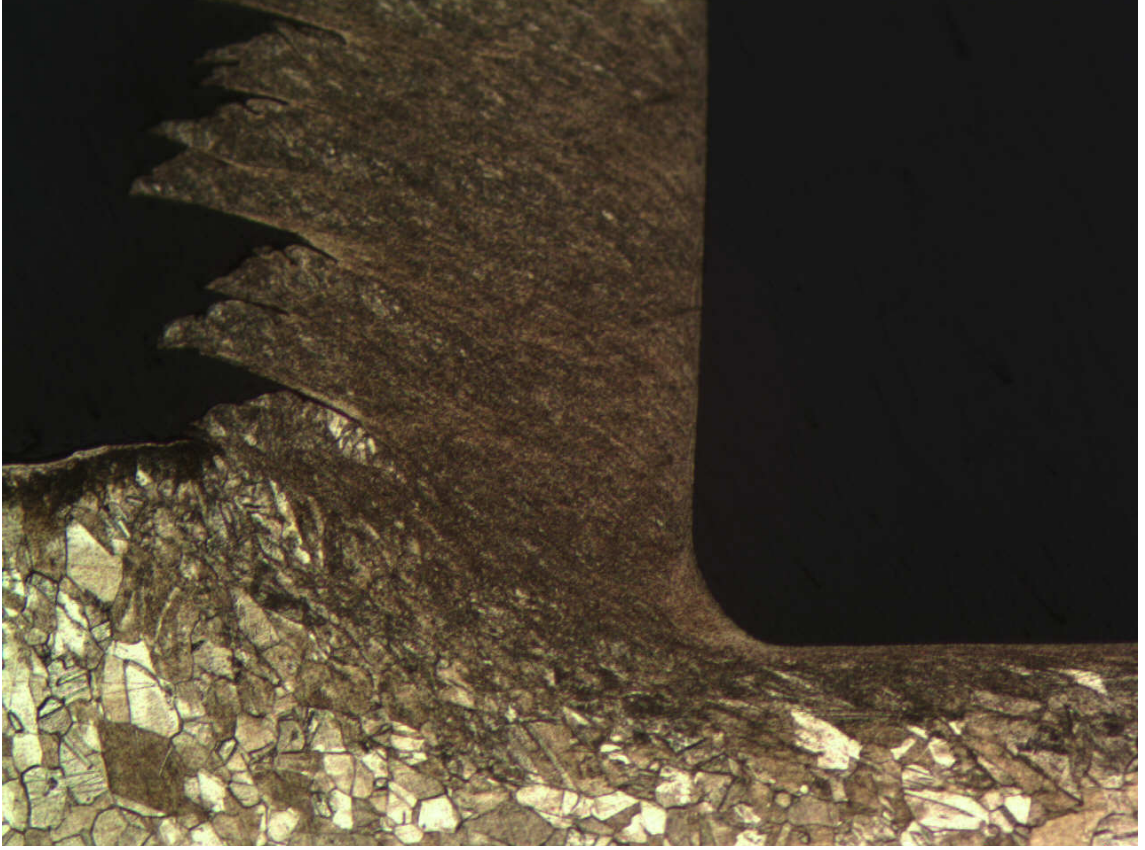
Şekil 5.11 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



Şekil 5.12 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



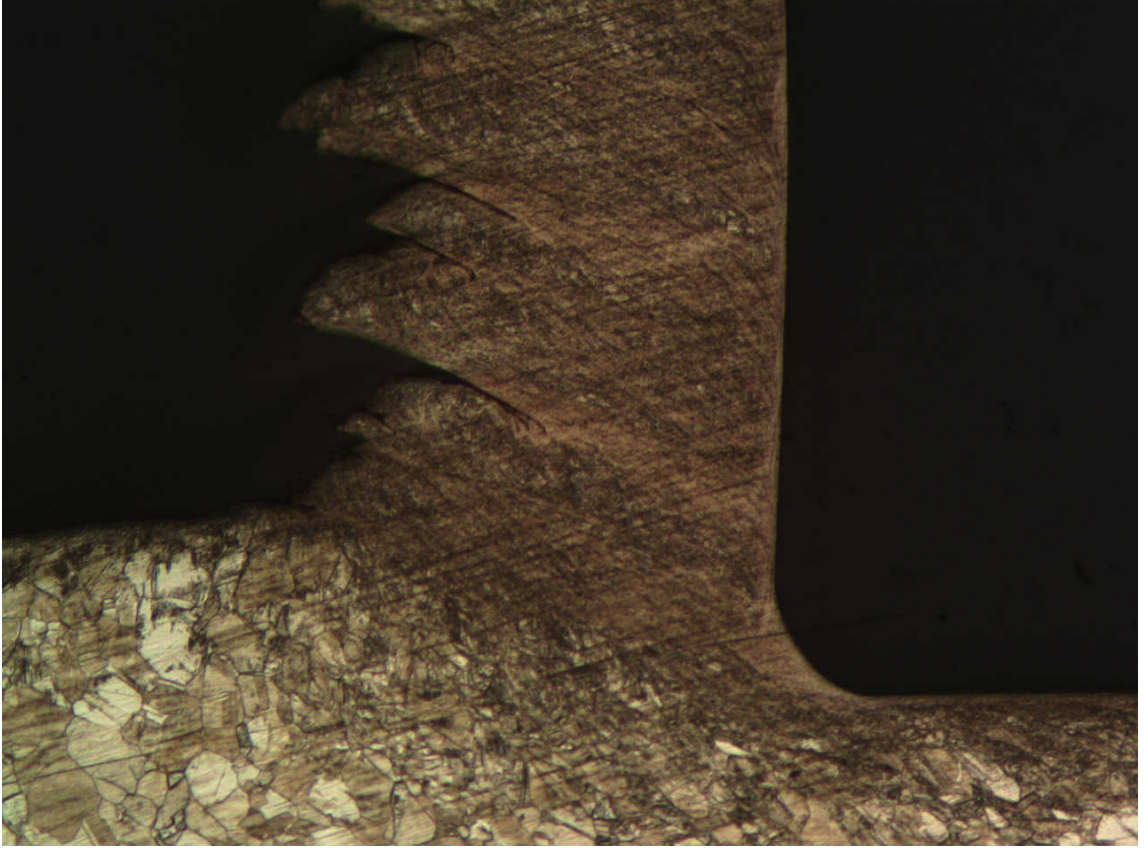
Şekil 5.13 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75$ m/dak, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)



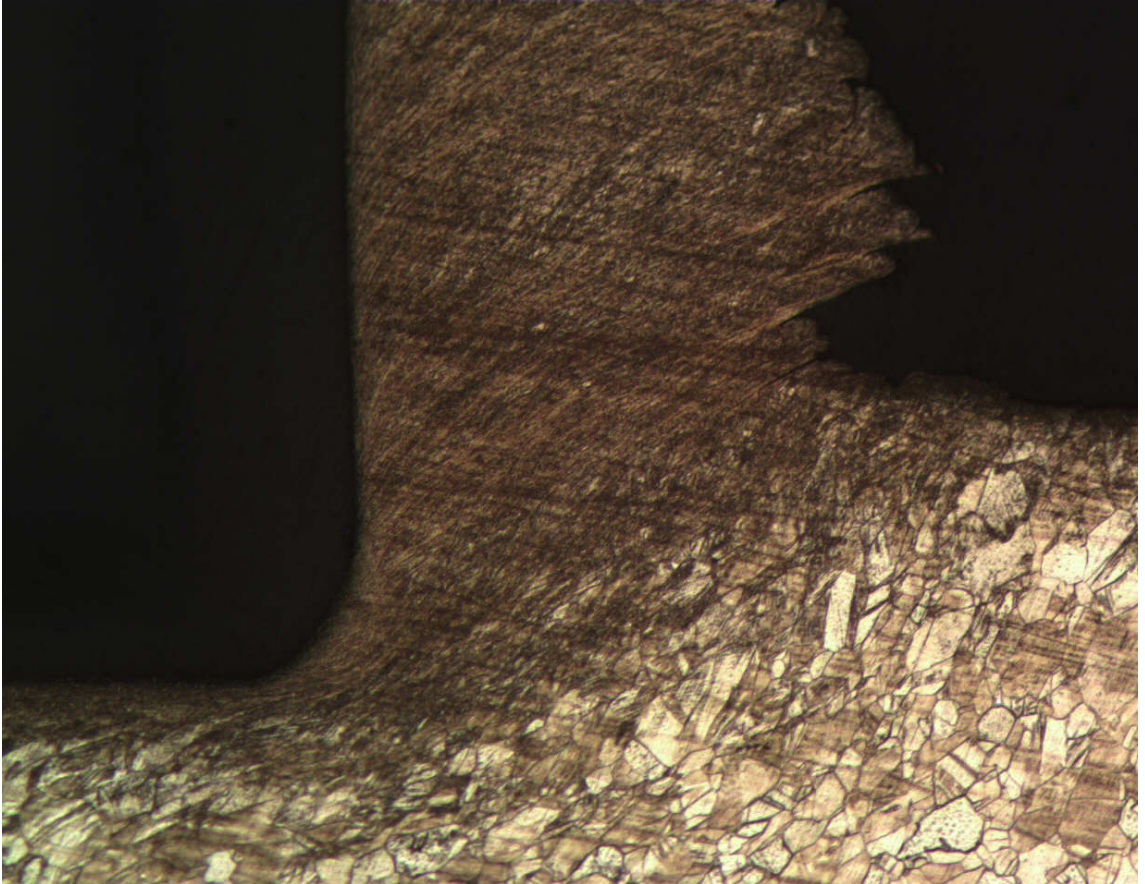
Şekil 5.14 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,25$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



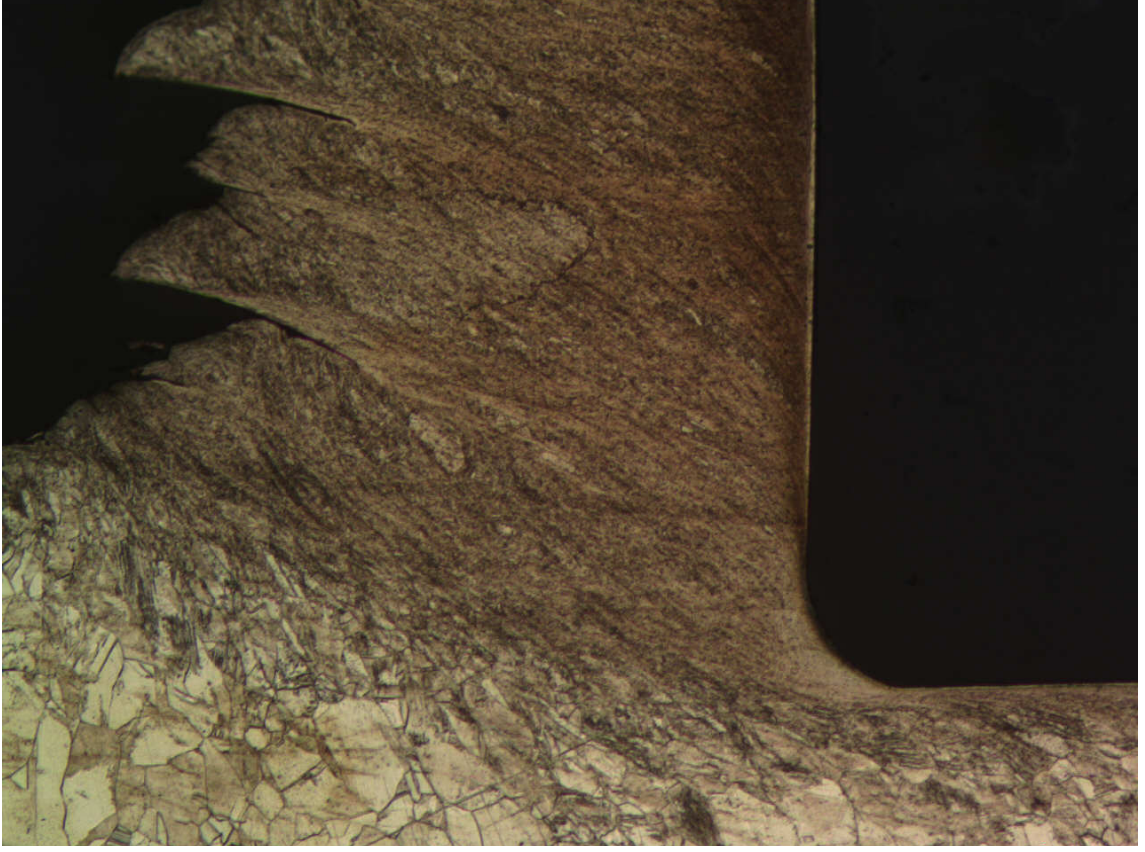
Şekil 5.15 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)



Şekil 5.16 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 100 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75$ m/dak, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)



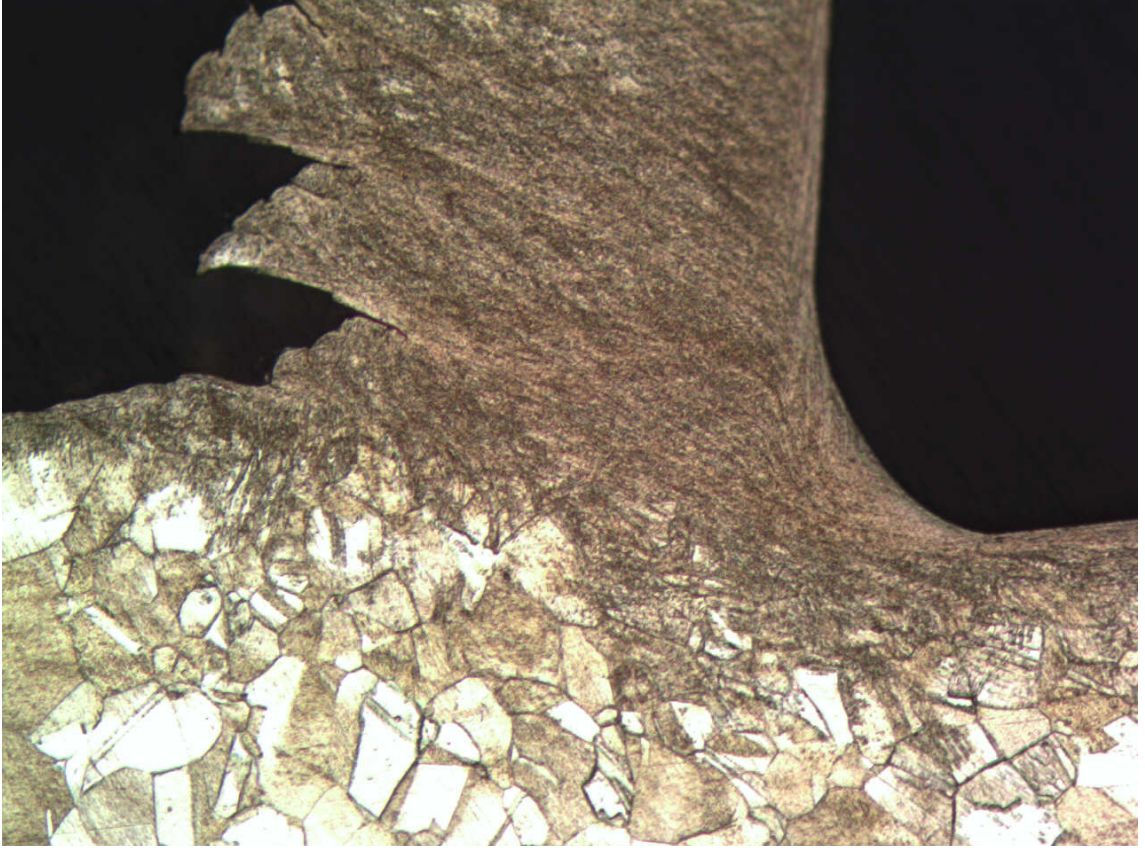
Şekil 5.17 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 100 \mu\text{m}$)



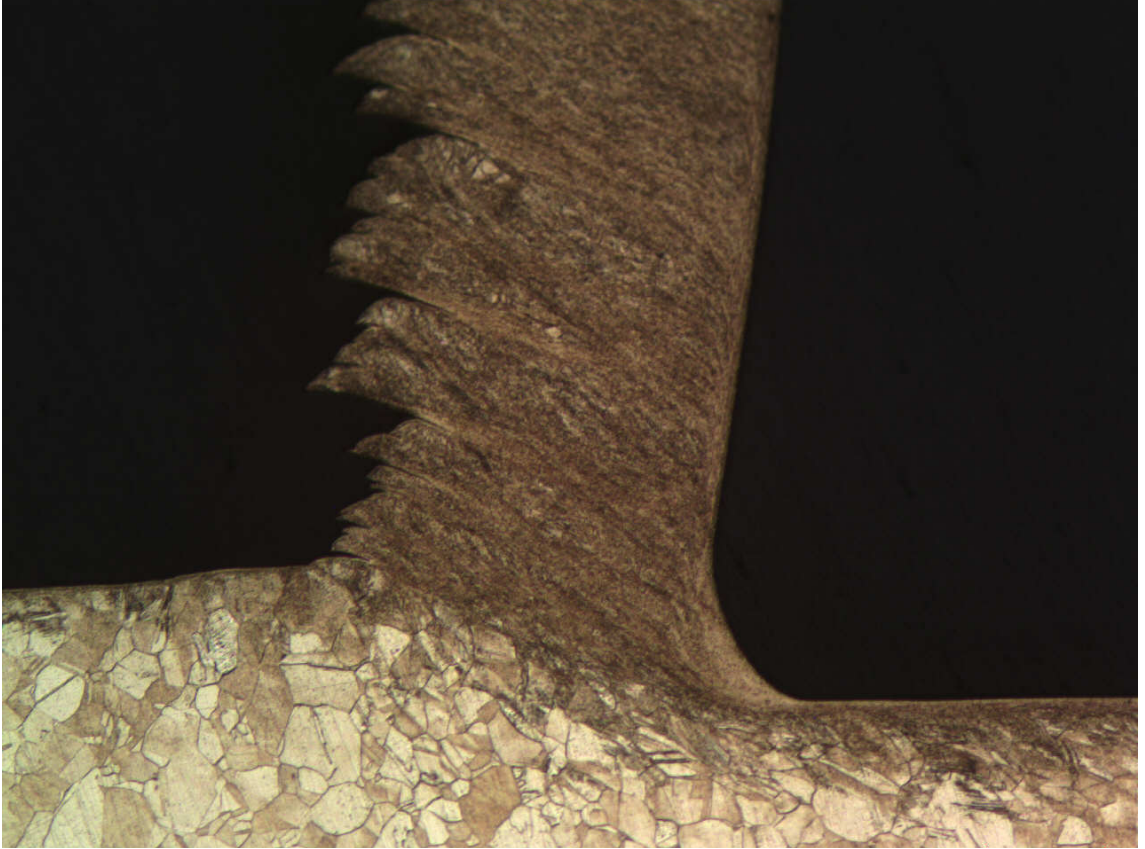
Şekil 5.18 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=0^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)



Şekil 5.19 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=6^\circ$, $r = 50 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)



Şekil 5.20 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=6^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,5$ m/dak, $t_1 = 150 \mu\text{m}$)

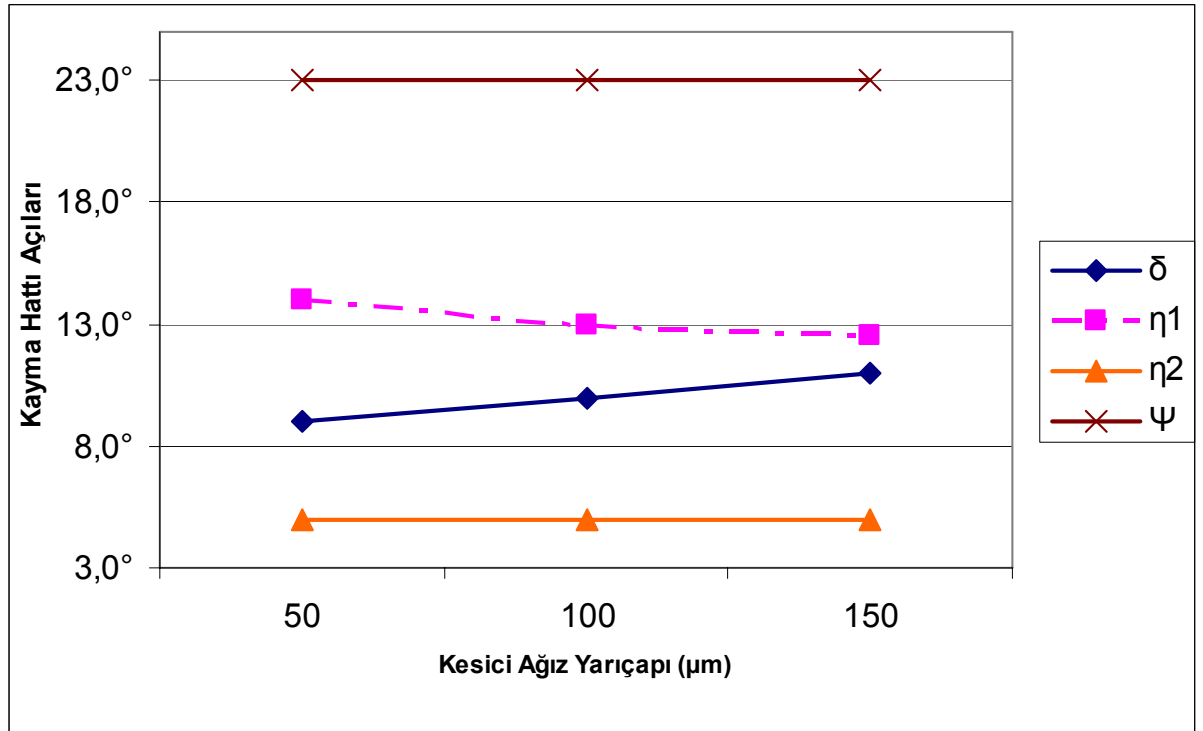


Şekil 5.21 Mikroskopla inceleme sonucunda görülen ölü bölge ($\gamma=6^\circ$, $r = 150 \mu\text{m}$, $V_c = 0,75$ m/dak, $t_1 = 50 \mu\text{m}$)

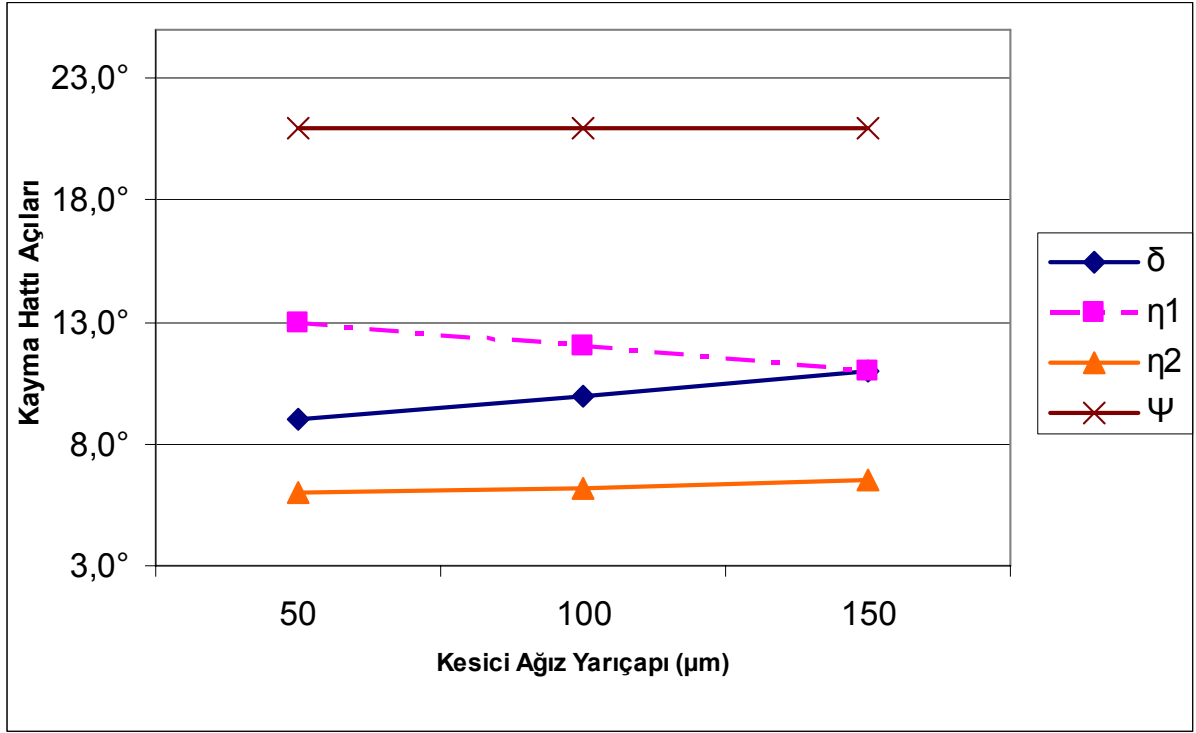
Yukarıdaki mikroskop ile elde edilen görüntüler incelendiğinde ölü bölge net olarak görülmektedir. Ölü bölge kesici takımın kesici ağız kısmıyla talaş temas yüzeyinde oluşmakta ve talaş açısı 0° ve 6° için de mevcuttur. Ölü bölge tüm kesme derinliklerinde ve hızlarında görülmüştür. Ölü bölgenin değişimi ve oluşumu kesici ağız yarıçapına bağlıdır.

Şekil 5.18 ve 5.19’u inceleyecek olursak, kesici ağız yarıçapı ilk resim için $50\ \mu\text{m}$ diğer resimdeki deney için $150\ \mu\text{m}$ ’dur. Kesici ağız yarıçapı $150\ \mu\text{m}$ için ölü bölge daha rahat görülebilmektedir. Bu görüntülerden, ölü bölgeyi tanımlayan açının kesici ağız yarıçapı arttıkça arttığı görülmektedir.

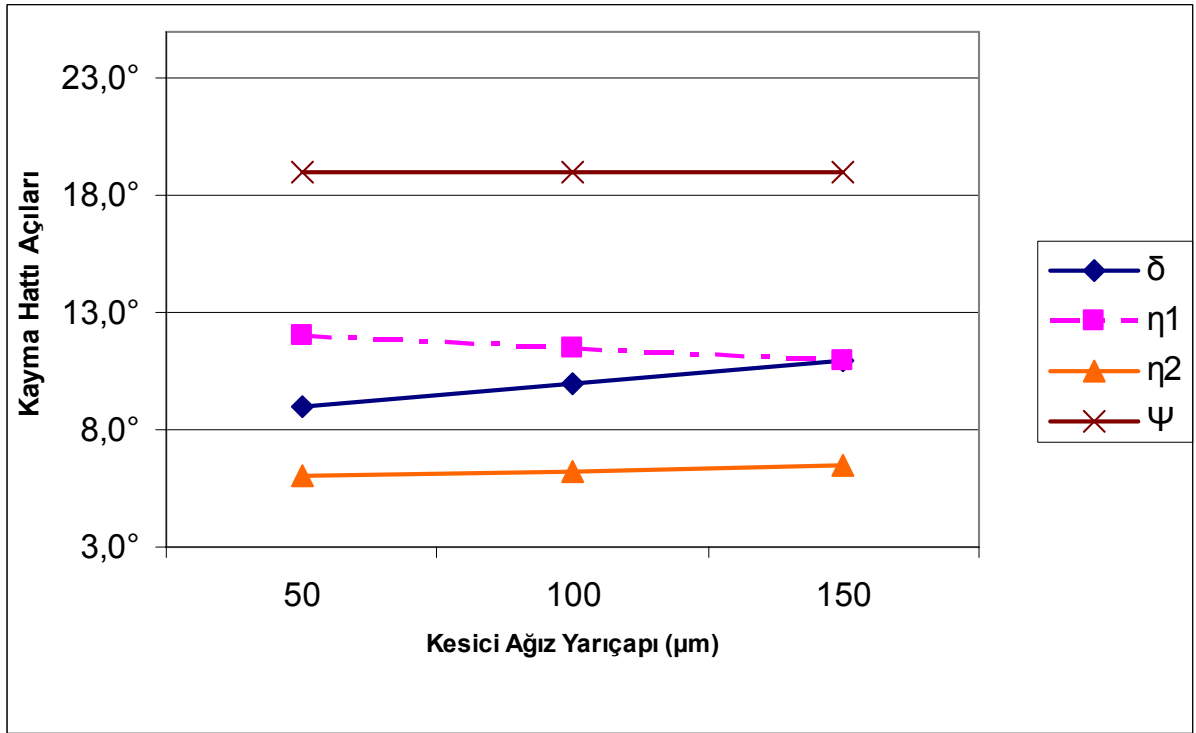
Şekil 3.6’da belirtilen yeni kayma hattı modeli için Math Cad ile yazılan program kullanılarak çözüm yapıldı. Tüm kayma hattı açıları bulundu. Kayma hattı açılarının değişimleri belirlemek için kesici ağız yarıçapına göre değişim grafikleri çizildi.



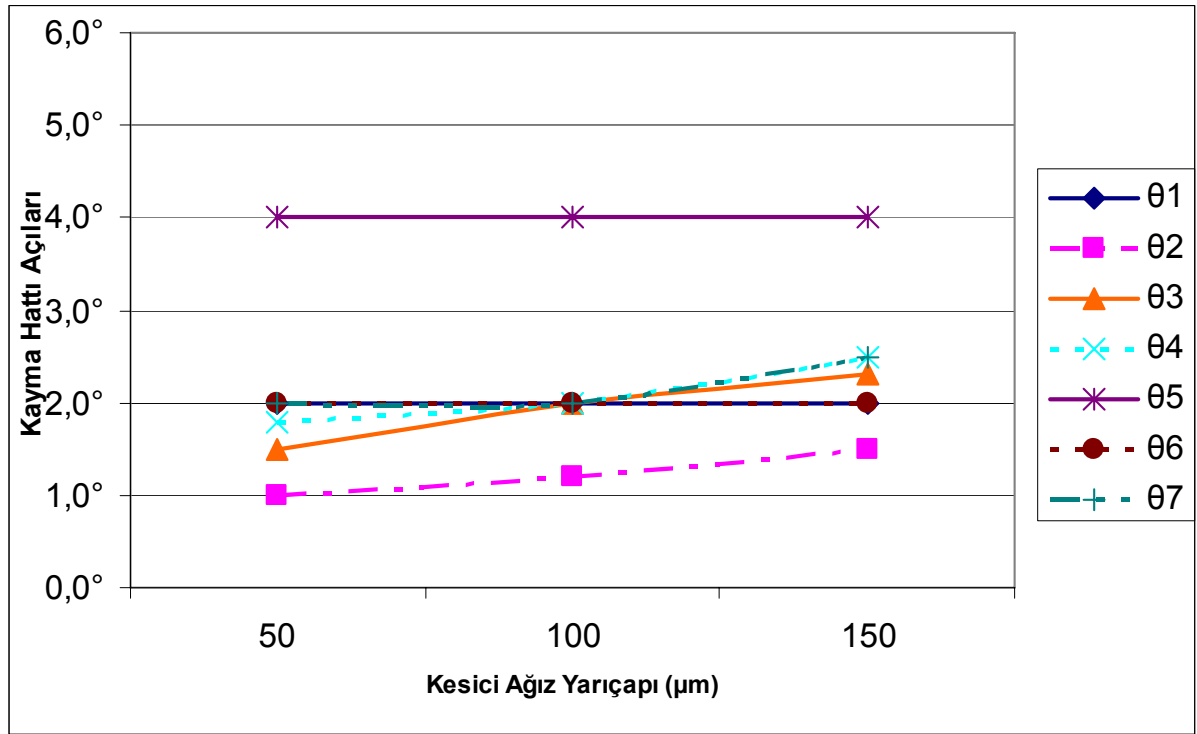
Şekil 5.22 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, $k.t_1.w=12,45$)



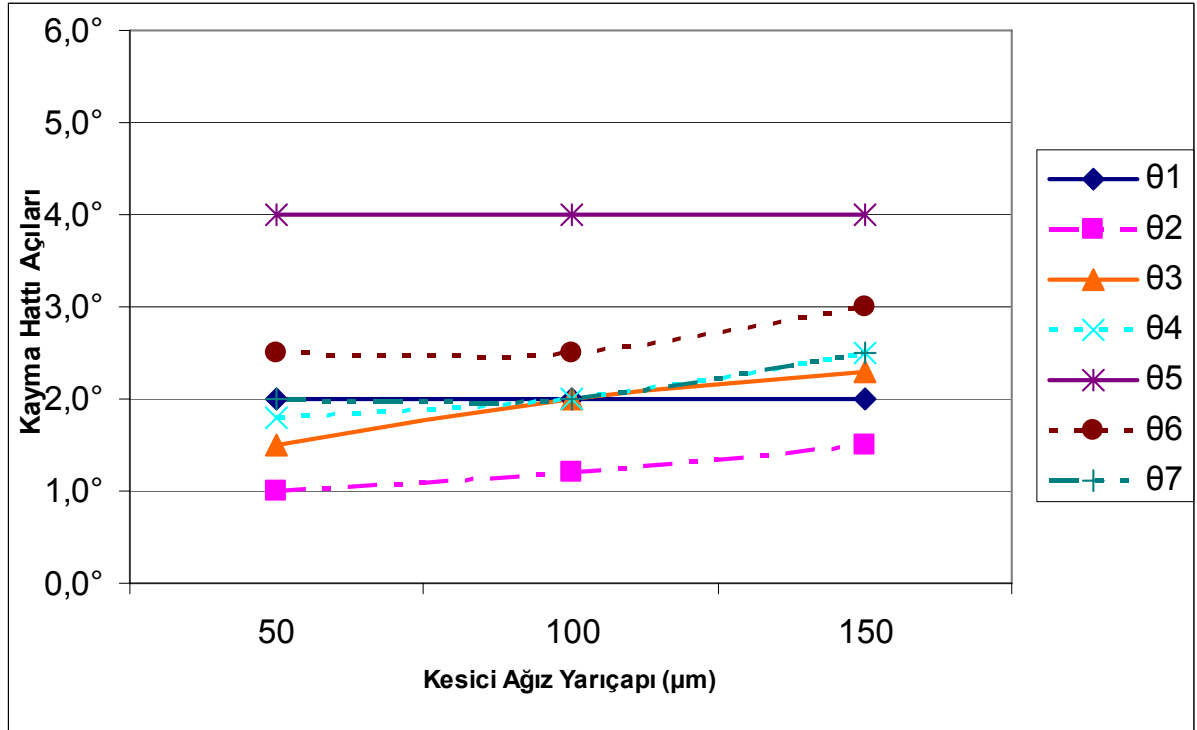
Şekil 5.23 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t.l.w =24,9)



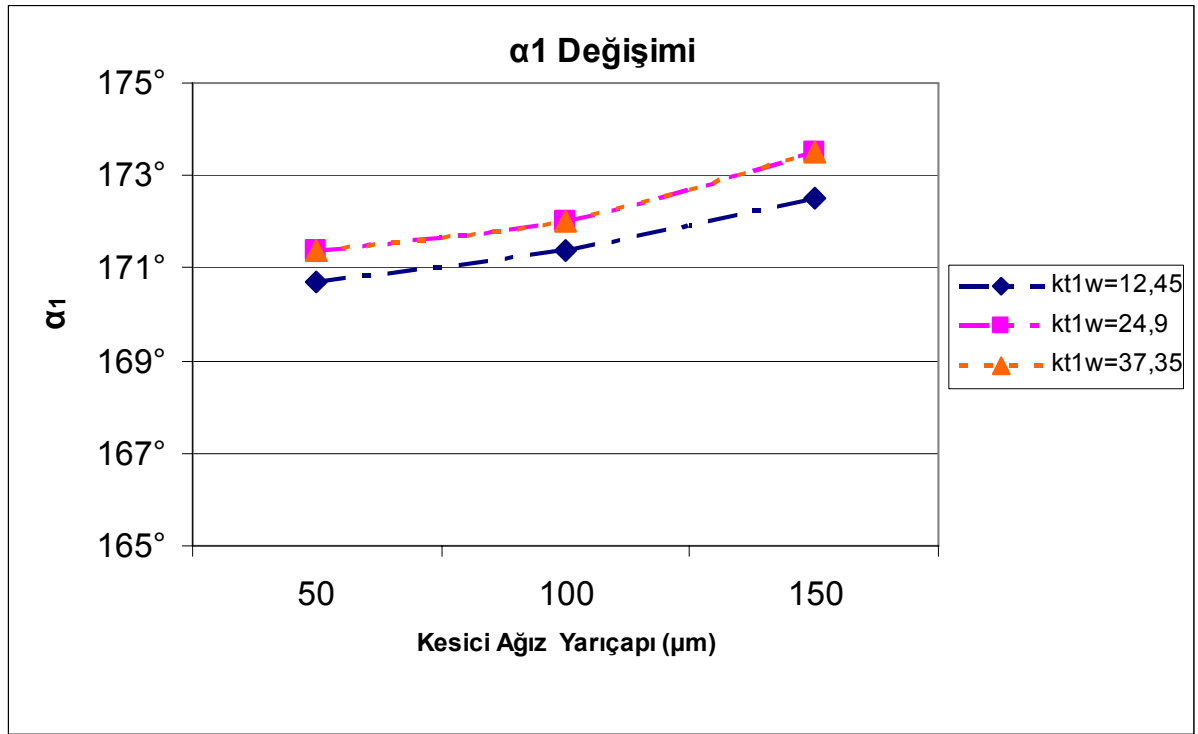
Şekil 5.24 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t.l.w =37,35)



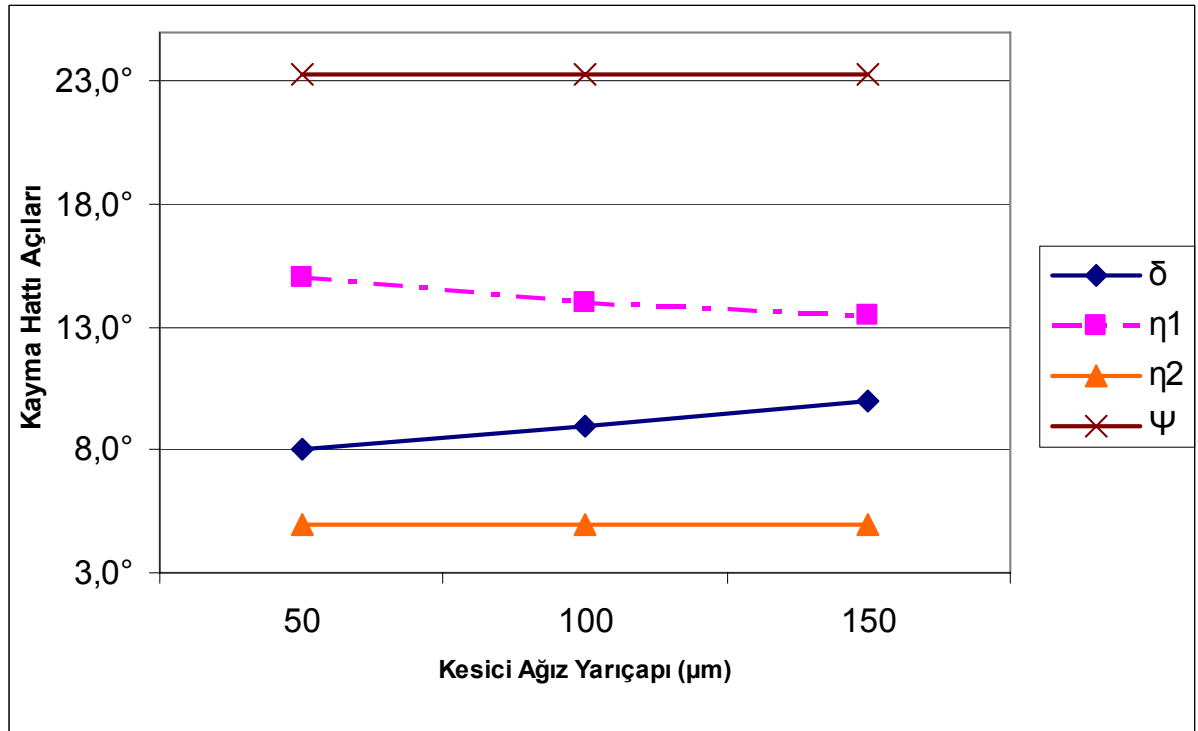
Şekil 5.25 Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t₁.w =12,45)



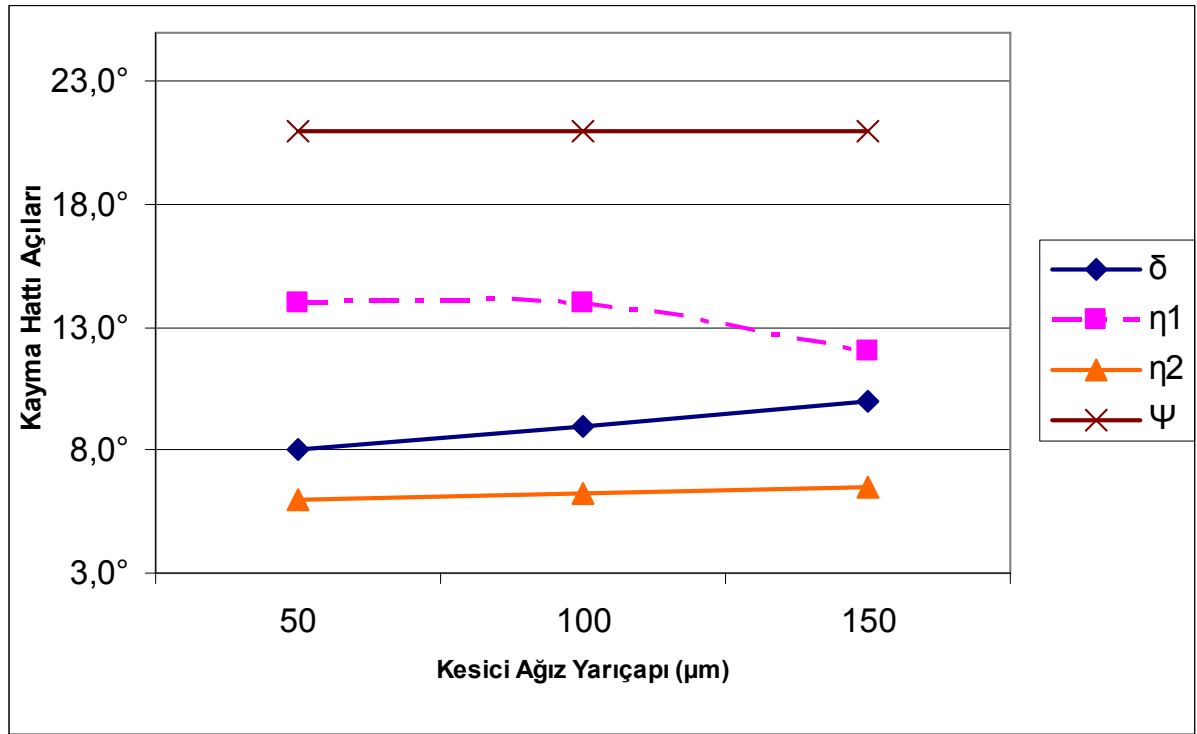
Şekil 5.26 Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=0^\circ$, k.t₁.w =24,9; 37,35)



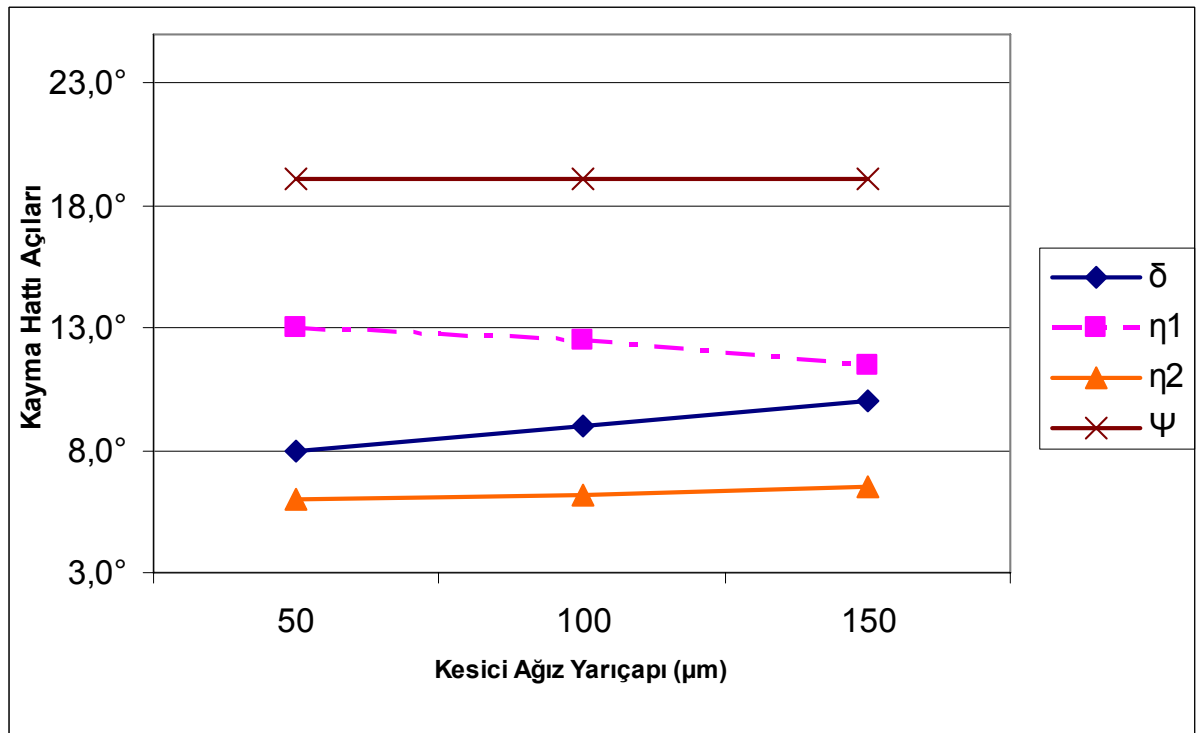
Şekil 5.27 Kesici ağız yarıçapına göre α_1 açısının değişimi ($\gamma=0^\circ$)



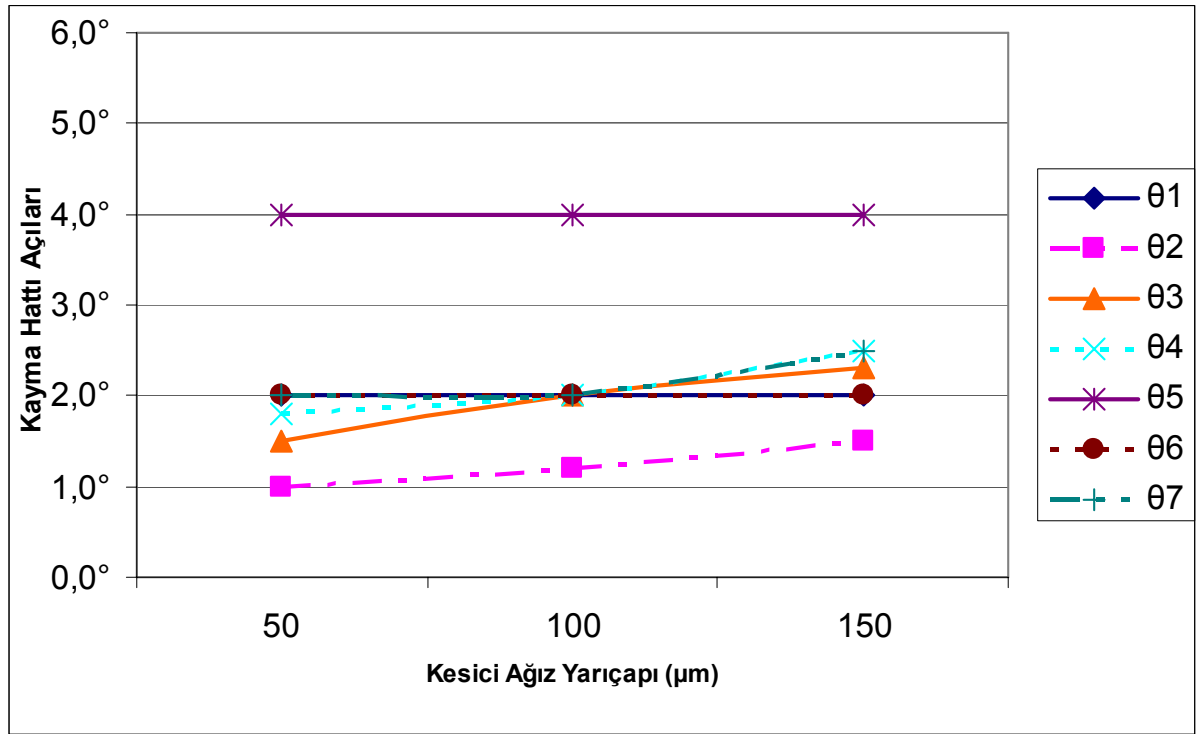
Şekil 5.28 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, $k.t_1.w=12,45$)



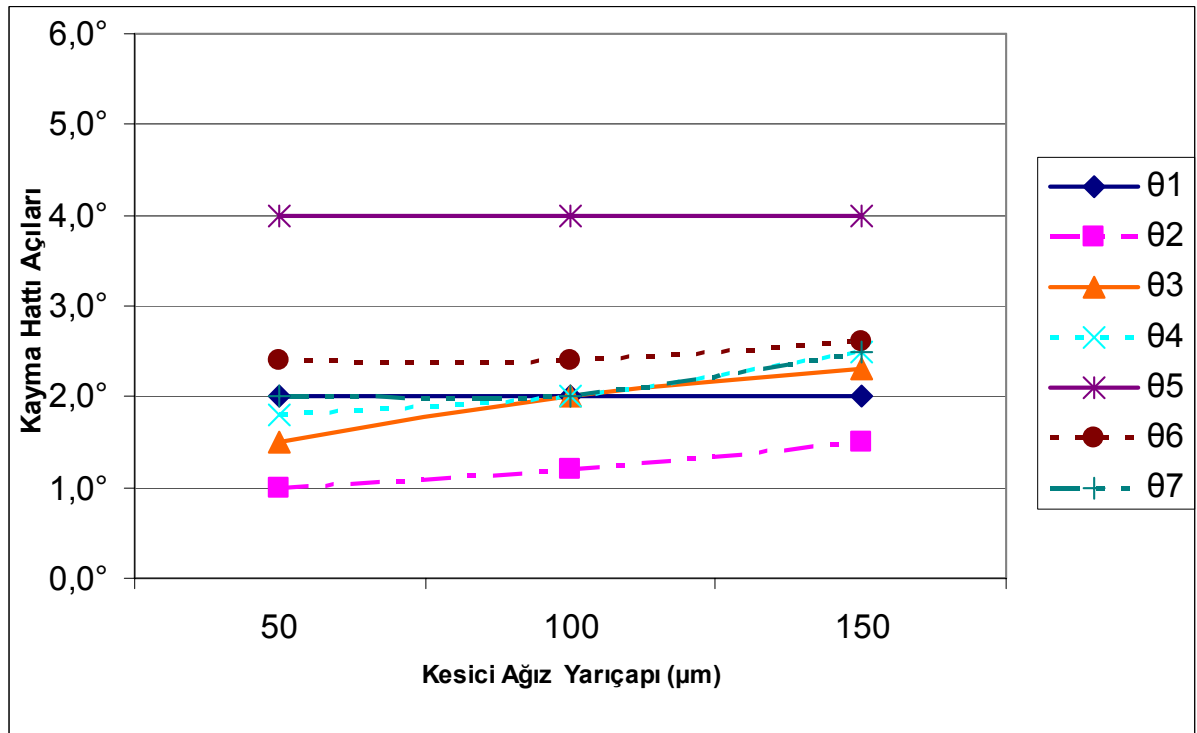
Şekil 5.29 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, $k.t_1.w=24,9$)



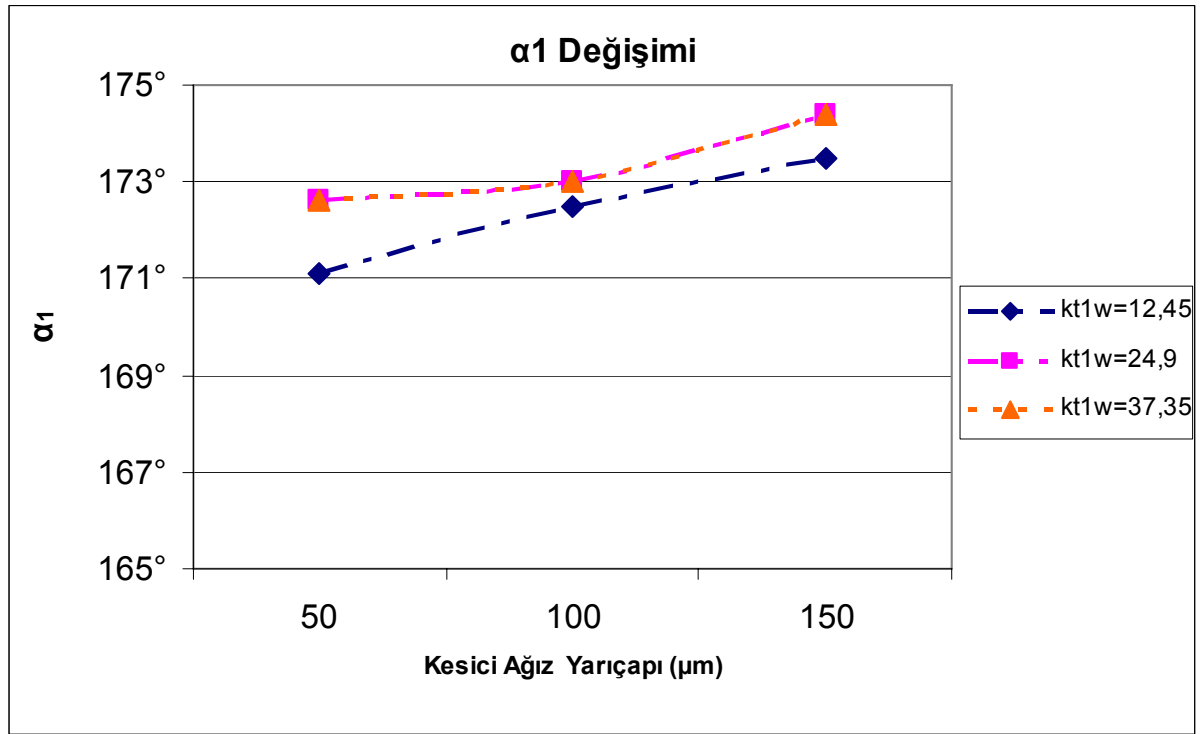
Şekil 5.30 Kesici ağız yarıçapına göre kayma hattı açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, $k.t_1.w=37,35$)



Şekil 5.31 Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t₁.w =12,45)



Şekil 5.32 Kesici ağız yarıçapına göre $\theta_1 - \theta_7$ açılarının değişimi ($\gamma=6^\circ$, k.t₁.w =24,9; 37,35)



Şekil 5.33 Kesici ağız yarıçapına göre α_1 açısının değişimi ($\gamma=6^\circ$)

Kayma hattı açılarının değişimleri talaş açısı 0° için Şekil 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27'de, talaş açısı 6° için Şekil 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 ve 5.33'de gösterilmiştir. Belirlenen kayma hattı açılarına göre HKD ölü bölgesini δ açısı temsil etmektedir. Kesici ağız yarıçapı arttıkça ölü bölge büyümektedir. Talaş açısı pozitif olarak arttıkça aynı kesici ağız yarıçapı için ölü bölgenin alanı azalmaktadır.

Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'de farklı k.t₁.w değerleri için η_1, η_2, ψ ve δ kayma hattı açılarının değişimleri görülmektedir. Ölü bölgeyi belirten δ kayma hattı açısı tüm k.t₁.w için kesici ağız yarıçapı artışıyla artmaktadır. Bu artış talaş açısı 6° için de geçerlidir (Şekil 5.28, 5.29, 5.30). HJE bölgesini tanımlayan η_1 kayma hattı açısı ise k.t₁.w değerlerinde değişim göstermekte ve tüm talaş açıları için kesici ağız yarıçapı arttıkça azalmaktadır. Kayma düzlemi yüzeyi ile HECK eğrisel dörtgen bölgesi arasında teması sağlayan CKB bölgesinin η_2 açısı kesici ağız yarıçapı arttıkça küçük miktarda artmaktadır. ψ kayma hattı açısı kesici ağız yarıçapına göre sabit kalmaktadır. Kayma hattı açısı değişimleri talaş açısı 6° için de geçerlidir.

Talaş açısı 0° için $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$ kayma hattı açısı değişimleri Şekil 5.25 ve 5.26'da, talaş açısı 6° için Şekil 5.31 ve 5.32'de verilmiştir. θ_1 ve θ_5 açıları kesici ağız yarıçapına göre

değişim göstermemektedir. Deneyde kullanılan tüm $k.t_1.w$ değerleri için grafik olarak değişimler verilmiştir. Belirtilen kayma hattı açıları $k.t_1.w$ 24,9 ve 37,35 için aynı değerdedir (Şekil 5.26 ve 5.32). $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ kayma hattı açıları kesici ağız yarıçapı arttıkça artmaktadır. Değişim tüm talaş açıları için geçerlidir. θ_6 kayma hattı açısı ise $k.t_1.w$ değerinin artışıyla değişim göstermektedir. θ_7 kayma hattı açısı ise kesici ağız yarıçapı 150 μm için artış göstermektedir.

α_1 iş parçası serbest yüzeyiyle AF kayma yüzeyi arasındaki açı olup değişimi talaş açısı 0° için Şekil 5.27’de talaş açısı 6° için Şekil 5.33’de verilmiştir. Her iki talaş açısı için de α_1 açısı kesici ağız yarıçapı arttıkça artmaktadır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile ortogonal talaş kaldırmada malzeme akışı ve kesme kuvvetlerini inceleme ve modelleme yapılmıştır. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada kesen ağzın yuvarlatılma yarıçapına bağlı olarak, takımın kesen ağzı negatif talaş açılı bir takım gibi davrandığından, çalışmalar iki ana grupta gerçekleştirilmiştir. Ani duruş cihazı kullanarak, negatif talaş açılı ve kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerinin ve talaş oluşum mekanizmasının incelenmesi ve modellenmesidir.

Deneyler sonucunda, negatif talaş açılı keskin ağzılı takımlarla talaş kaldırmada, talaş açısı negatifleştikçe kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır. Kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler kesme hızı arttıkça azalmakta, kesme derinliği arttıkça artmaktadır. Talaş açısı negatifleştikçe plastik deformasyon bölgesi büyür, kayma açısı azalır ve kuvvetler artar. Negatif talaş açısı mutlak değerce arttıkça F_t/F_c oranı artmaktadır. Talaş açısı negatifleştikçe (özellikle talaş açısı -50° sonra) radyal kuvvetin artış miktarı kesme kuvvetinin artış miktarından çok daha fazla olmaktadır. Negatif talaş açılı keskin ağzılı takımlarla talaş kaldırmada kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisini birçok araştırmacı incelemiştir. Bu araştırmacılardan Abdelmoneim ve Scrutton sadece negatif talaş açısı -55° ile -70° arasında kesme hızı sabitken kuvvet değişimlerini araştırmışlardır. Günay v.d. ise kesme hızının sadece kesme kuvvetine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada ise, CuZn30 iş parçası malzemesi için kesme hızına göre radyal kuvvetlerin ve kesme kuvvetlerinin değişimleri, talaş açısı 0° ile -70° arasında geniş bir bölgede farklı hızlar için ani duruş cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ani duruşun diğer mekanik düzeneklere göre çok daha hassas sonuçlar verebilmesi, dizaynı ve imalatı gerçekleştirilen ani duruş cihazının yazılımının ve servo motorun özellikleri sayesinde.

Yeni bir kayma hattı modeli, negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma için geliştirilmiştir. Bu modelde ölü bölge göz önüne alınmıştır. Yeni kayma hattı alan modeli toplam 3 kayma hattı bölgesiyle tanımlanmıştır. Modelin matematiksel formülasyonu Dewhurst ve Collins'in matris algoritması temel alınarak yapılmıştır. Negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırma için ilk kayma hattı modelini Abebe oluşturmuştur. Matematik bağıntıları sunmuş fakat kayma hattı açılarının değişimleri hakkında net çözüm belirtmemiştir. Fang'ın modeli ise ölü bölgeye sahip fakat malzeme akışı hakkında bilgi vermemektedir. Fang bazı çalışmalarında, Abebe ise çalışmasında matematik bağıntılar bulmuşlar fakat Dewhurst ve Collins'in matris

algoritmasını kullanmamışlardır. Bu yüzden Fang ve Abebe'in kayma hattı model çözümlerinin matematik bağıntıları karmaşıktır. Bu çalışmada ise, kayma hattı modelinde tüm kayma hattı açıları deneysel veriler yardımıyla çözülmüştür. Ölü bölge, iş parçalarının negatif talaş açılı takımla talaş kaldırmasında elde edilen numunelerde görülmüştür. Deneysel çalışmadaki ölü bölge, çalışmanın ayrıcalıklarından biridir. Yeni model fazla miktarda matematik bağıntı içerdiğinden, çözüm için bir Math Cad programı yazılmıştır. Program ile değişkenlerin değerleri değiştirilerek tüm kayma hattı çözümleri yapılabilmektedir. Bu, modelin çözüm kolaylığı açısından önemlidir.

Planyalama esaslı talaş kaldıran bilgisayar kontrollü ani duruş cihazıyla yapılan ani duruş deneyleri sonrası, kayma hattı modelinin açıları belirlenmiştir. Yeni kayma hattı modeline göre negatif talaş açısı mutlak değerce arttıkça ölü bölge açısı artmaktadır. Ölü bölge alanı, negatif talaş açısı negatifleştikçe artacaktır. Ölü bölge açısı, 9° ile 25° arasında değişim göstermektedir. Negatif talaş açısı negatifleştikçe ölü bölgenin talaş yüzeyindeki temas boyu değişmektedir. Negatif talaş açısı arttıkça, deforme olan talaş ile takım talaş yüzeyinin sürtünmesiyle oluşan bölgenin kayma hattı açısı azalmaktadır. Diğer kayma hattı açılarındaki değişim miktarı çok azdır. Negatif talaş açısı mutlak değerce arttığında, plastik deformasyon bölgesi genişlediğinden, iş parçası serbest yüzeyiyle kayma yüzeyi arasındaki açı büyümektedir. Açı değişimlerinin, oluşan kuvvet değerlerine göre sayısal değer olarak eldesi, çalışmanın diğer orijinal yönüdür.

Negatif talaş açılı takımla talaş kaldırma işleminde takım yüzeyinde talaş akışının iki yönde olacağını birçok araştırmacı savunmuştur (Komanduri, Abebe, Kıta v.d.). Kopalinsky ve Oxley ise akışın bölünmeden dalga şeklinde olacağını belirtmişlerdir. Komanduri, iş parçası malzemesi çelik için malzeme akışını belirtmiş fakat ölü bölge oluştuğunu söylememiştir. Kıta v.d. ise iş parçası malzemesi kurşun için akış yönlerini belirtmişlerdir. Abebe ise çalışmasında Komanduri'nin deneysel verilerini kullanmıştır. Bu çalışmada ise, negatif talaş açılı takımlarla talaş kaldırmada malzeme akış yönünü ölü bölge ucundaki ayrılma noktası belirlemektedir. Talaş kaldırma esnasında, pirinç iş parçası malzemesinin ölü bölge üzerinde bulunan ayrılma noktasından itibaren yukarı ve aşağıya doğru aktığı kabul edilir. Talaş kaldırma esnasında kesme derinliğinin belirlediği kodun altındaki malzeme, serbest yüzeyin altına doğru akar. Buradaki malzeme akarken ayrılma noktasına gelmeden yükselme gösterir daha sonra ölü bölgenin altından aşağıya doğru akar.

Negatif talaş açısı ile yapılan bu deneyler kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırmayı anlamada yardımcı olmuştur. Kesici ağzı yuvarlatılmış takım ile talaş kaldırma işlemi için oluşturulacak kayma hattı modelinde negatif talaş açılı takım için elde edilen modelden faydalanılmıştır.

Bu modelde, kesici ağzı yuvarlatılmış takım için de yeni bir kayma hattı talaş kaldırma modeli oluşturulmuştur. Ölü bölge göz önüne alınmıştır. Yeni kayma hattı modeli kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için geçerli olup, talaş yüzeyinin önünde bir ölü bölgeye sahiptir. Tanımlı kayma hattı bölge sayısı sekizdir ve daha önce benzeri olmayan yeni bir modeldir. Modelin matematik formülasyonunun temeli Dewhurst ve Collins'in matris algoritmasıdır. Daha önceki çalışmalarda, kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için üç önemli model mevcuttur [Manjunathaiah ve Endres (2000); Fang N. (2003a); Fang N. ve Fang G. (2007)]. Manjunathaiah ve Endres, talaş kaldırma kuvvet modelini deformasyon bölgesi alt sınırında kuvvet dengelemesi yaparak geliştirmişlerdir. Manjunathaiah ve Endres'e göre, kesici ağızda görünen negatif talaş geometrisi kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarda etkin rol oynar. Bu yaklaşımdan yola çıkarak ortalama talaş açısı tanımı yaparak modelleme yapmışlardır. Fakat modelde ölü bölge incelenmemiştir. Bu çalışmadaki yeni kayma hattı modelinde göz önüne alınan talaş yüzeyinin önündeki ölü bölge, deneysel çalışmalarda da görülmüştür. Yeni kayma modelindeki ölü bölgenin deneysel olarak açık ve net görülmesi de modeli güçlendirmiştir. Fang ise bir çalışmada modelinde tüm kayma hatları alanını 27 alt bölgeye ayırmıştır. Her bir kayma hatları alt bölgesinin fiziksel anlamını açıklamış ardından da modelin diğerlerinden farklılığını belirtmiştir. Modelin kayma hattı bölge sayısı çoktur. Birinci deformasyon bölgesini 14 bölgeye ayırmıştır. Bu yüzden çözümü çok zordur. Bu çalışmadaki model ise toplam sekiz bölgeden oluşmakta, ölü bölge başta olmak üzere tüm kayma hattı bölgelerini basit ve anlaşılır şekilde tanımlamaktadır. Oluşturulan Math Cad programı sayesinde farklı değişkenler için kayma hattı çözümleri yapılabilmektedir. Bu, modelin kullanılabilirliği açısından çok önemlidir. Fang N. ve Fang G. çalışmalarında, hem teorik hem de deneysel araştırmalar yaparak, analitik ve sonlu elemanlar modelleriyle elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Modellerinde, kayma hattı modelini kullanmamışlardır. Kayma bölgesinde oluşan mekanizmanın çözümünden çok deformasyon hızı, gerinme ve kesici ağız etrafında oluşan sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Ayrılma açısını 25° kabul etmişlerdir. Bu çalışmada, ayrılma açısının, deneysel görüntülerle bulunması yeni modelin açık bir üstünlüğüdür. Deneysel verilerdeki ölçüm sonuçlarına göre, ayrılma açısının farklı takım

geometrisi ve talaş kaldırma şartlarındaki değişiminin 38° ile 46° arasında bulunması çalışmanın diğer bir özgün tarafıdır.

Bu çalışmadaki yeni model ile tüm kayma hattı bölge açıları deneysel verilerle çözümlenmiştir. Ölü bölge alanı kesici ağız yarıçapı arttıkça büyümekte, talaş açısı arttıkça küçülmektedir. Diğer kayma hattı bölgelerinde de değişimler oluşmaktadır. Kesici ağız yarıçapı arttıkça, deforme olan talaş yüzeyinin sürtünmesiyle oluşan bölge küçülmekte, kayma yüzeyi ile eğrisel dörtgen bölgesi arasında teması sağlayan bölge büyümektedir. Kesici ağız yarıçapı arttığında, deformasyon bölgesinde az miktarda büyüme olduğundan iş parçası serbest yüzeyiyle kayma yüzeyi arasındaki açı artmaktadır.

Tüm kesme hızlarında kesici ağız yarıçapı arttıkça, kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler artmaktadır. Birçok araştırmacı kesici ağız yarıçapının veya kesme derinliğinin artışıyla kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin arttığını belirtmişlerdir (Wang, Okushima ve Kakino, Manjunathaiah ve Endres). Bu çalışmada da kesme derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin ve radyal kuvvetlerin arttığı görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler azalmaktadır. Bunun sebepleri ise; sıcaklığın yükselmesi, birim zamanda kaldırılan talaşın fazla olması ve temas boyunun kısılmasıdır. Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için deneyler talaş açıları 0° ve 6° için uygulanmıştır. Talaş açısının artmasıyla deformasyon bölgesinin küçülmesi, kayma açısının büyümesinden dolayı kesme kuvvetleri ve radyal kuvvetler azalmaktadır.

Talaş kaldırma esnasında iş parçası malzemesi çelik için ölü bölgenin formunun malzeme akışını belirlediğini savunan araştırmacılar olmuştur (Palmer ve Yeo). Fakat Palmer ve Yeo akışın ayrılma noktası hakkında bilgi vermemişlerdir. Manjunathaiah ve Endres ise akışın ikiye ayrıldığını vurgulamışlar fakat ölü bölge etkisini belirtmemişlerdir. Fang N. (2003a) ve Fang N. ve Fang G. (2007) kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için oluşturdukları modellerde, iş parçası malzemesinin takımın kesici ağızı etrafında zıt yönlü akış gösterdiğini vurgulamışlardır. Malzemenin bir kısmı ayrılma noktasından kesici ağız yarıçapı boyunca aşağıya doğru akarken, aynı anda diğer kısmı yukarı doğru akmaktadır [Fang N. (2003a); Fang N. ve Fang G. (2007)]. Çalışmalarında, ayrılma noktasını belirleyen ayrılma açısını belli açı değerinde kabul etmişlerdir. Bu yüzden, çalışmalarında malzeme akışının bölündüğü yer belirsizdir. Bu çalışmada ise, talaş kaldırma esnasında malzeme akışı kesici ağız yuvarlatılmış takım için oluşturulan yeni kayma hattı modeli ile tanımlanmıştır. Akış yönünü

modeldeki ayrılma noktası belirlemektedir. Malzemenin bir kısmı kesici takım altına doğru, diğer bir kısmı ise ayrılma noktasından itibaren yukarı doğru akar. Kesme derinliğinin en altından akan malzeme ayrılma noktasına yaklaştığında şişer ve iş parçası malzemesinin altına doğru akar. Ani durdurma yapılan iş parçası numuneleri üzerinde alınan ölçülerle ayrılma açısı ve ayrılma noktasının iş parçası yüzeyine olan mesafesi belirlenmiştir. Ayrılma noktasının yeri ve ayrılma açısı dolayısıyla ölü bölgenin belirlenmesi deneysel verilerle oluşturulan formülde kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliği kullanılarak kolayca bulunabilir.

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada negatif talaş açılı ve kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma için yeni kayma hattı modelleri geliştirilmiştir. Kayma hattı modellerindeki tüm kayma hattı açıları deneysel veriler yardımıyla çözülmüştür. Yeni modellerin çözümü için Math Cad programı yazılmıştır. Ayrılma noktasının yerinin belirlenmesi için deneysel veriler ışığında kesici ağız yarıçapı ve kesme derinliğine bağlı formül oluşturulmuştur. Oluşan ölü bölgeyi gösteren net görüntüler elde edilmiştir. Bu sayede deneysel çalışmalar ile kayma hattı modellemeyi birleştiren ve ölü bölgenin değişimini yansıtan, aynı zamanda negatif talaş açısına ve kesici ağız yuvarlatma yarıçapına bağlı radyal kuvvetler ve kesme kuvvetlerinin değişimlerini veren bir çalışma yapıp literatürdeki eksik giderilmiştir.

Sunulan iki yeni kayma hattı modeliyle ve yazılan Math Cad programıyla pirinç dışı malzemeler ve farklı parametreler için modelleme yapılabilir. Tasarlanıp imalatı yapılan planyalama esaslı talaş kaldıran bilgisayar kontrollü ani duruş cihazı ile istenilen kesme hızında ve kesme mesafesinde ani duruş işlemi yapılarak farklı iş parçası malzemelerinin kesme mekanizması belirlenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 25-06-01-02 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdelmoneim, M. ES. ve Scrutton, R. F.; "Cutting force vibrations when using negative rake tools"; Wear, Vol. 29, 1974a, Pages 134-135.
- Abdelmoneim M. ES., Nasser, A. A. ve Abdel Mahboud A. M.; "A fundamental study of cutting employing orthogonal negative rake tools"; Wear, Vol. 85, 1983, Pages 171-180.
- Abdelmoneim, M. ES. ve Scrutton, R. F.; "Tool edge roudness and stable build-up formation in finish machining"; Journal of Engineering for Industry, Nov. 1974b, Pages 1258-1267.
- Abdelmoneim, M. ES. ve Scrutton, R. F.; "Post-machining plastic recovery and the law of abrasive wear"; Wear, Vol. 29, 1973, Pages 1-13.
- Abdelmoneim, M. ES.; "Tool edge roudness in finish machining at high cutting speeds"; Wear Vol. 58, 1980, Pages 173-192.
- Abebe, M.; "A slip-line solution for negative rake angle cutting"; Manufacturing engineering transactions, No: 9, 1981, P. 341-348.
- Albrecht, P.; "New development in the theory of the metal-cutting process part 1: the ploughing process in metal cutting"; Journal of Engineering for Industry, Nov. 1960, Pages 348-358.
- ASM Handbook Volume 9; Metallography And Microstructures, 2004, 1184.
- Basuray, P. K., Misra, B. K. ve Lal G. K.; "Transition from ploughing to cutting during machining with blunt tools"; Wear, Vol. 43, 1977, Pages 341-349.
- Bitans, K. ve Brown, H.; "An investigation of the deformation in orthogonal cutting"; Internatioanal Journal of Mechanical Tool Des. Res., Vol. 5, 1964, Pages 155-165.
- Black, J. T. ve Huang, J. M.; "Shear strain model in metal cutting"; Manufacturing Science and Engineering, MED-Vol 2-1, 1995, Pages 283-302.
- Childs, T. v.d.; Metal Machining Theory and Applications, 2000, Arnold Publishers, 408, New York.
- Chiu, W., Endres, J. W. ve Thouless, M. D.; "Modeling Surface Damage In Glass Machining"; Project Summaries, Dept. Of Mechanical Engineering MichiganTech., 2000.
- Connolly, R. ve Rubenstien, C.; "The mechanics of continuous chip formation in orthogonal cutting"; Internatioanal Journal of Mechanical Tool Des. Res., Vol. 8, 1968, Pages 159-187.
- Dewhurst, P., Collins, I.F.; "A matrix technique constructing slip-line field solutions to a class of plane strain plasticity problems"; Int. J. Numer. Methods Eng. Vol. 7, 1973, Pages 357-378.
- Dewhurst, P.; "On the non-uniqueness of the machining process"; Proc. R. Soc. London, Ser. A 360, 1978, Pages 587-610.

Endres, W. J. ve Kountanya R. K.; “The effects of corner radius and edge radius on tool flank wear”; *Journal of Manufacturing Processes*, 2002, 4, 2; ProQuest Science Journals, Page 89.

Fang, N. ve Dewhurst, P.; “Slip-line modeling of built-up edge formation in machining”; *International Journal of Mechanical Sciences*, 2005, Pages 1-20.

Fang, N.; “Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool-part 1: New model and theory”; *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 51, 2003a, Pages 715-742.

Fang, N.; “Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool-part 2: analysis of the size effect and the shear strain-rate”; *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 51, 2003b, Pages 743-762.

Fang, N. ve Fang G.; “Theoretical and experimental investigations of finish machining with a rounded edge tool”; *Journal of Materials Processing Technology* 191, 2007, Pages 331–334.

Fang, N., Jawahir, I. S. ve Oxley, P. L. B.; “A universal slip-line with non-unique solutions for machining with curled chip formation and a restricted contact tool”; *International Journal of Mechanical Sciences* 43, 2001, Pages 557-580.

Fang, N. ve Jawahir, I. S.; “Analytic predictions and experimental validation of cutting force ratio, chip thickness and chip back-flow angle in restricted contact machining using the universal slip-line model”; *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42, 2002, Pages 681-694.

Fang, N.; “Machining with the tool-chip contact on the tool secondary rake face-part 1: a new slip-line model”; *International Journal of Mechanical Sciences* 44, 2002, Pages 2337-2354.

Finnie, I. ve Shaw, M. C.; “The shear stress in metal cutting”; *Trans. ASME*, 77, 1956, Pages 115-125.

Gunay, M., Aslan, G., Korkut, İ. ve Şeker, U.; “Investigation of the effect of rake angle on main cutting force”; *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44, 2004, Pages 953–959.

Hill R.; “On the limits set by plastic yielding to the intensity of singularities of stress”; *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 2., 1954, Pages 278–285.

Hosford, W. ve Caddell, R.M.; *Metal Forming : Mechanics and Metallurgy*, Prentice-Hall Inc.; 1983, New Jersey.

Johnson, W., Sowerby, R. ve Haddow, J.B.; *Plane Strain Slip Line Fields : Theory and Bibliography*, American Elsevier Publishing Company, 1970.

Karpat, Y. ve Özel, T.; “Mechanics of high speed cutting with curvilinear edge tools”; *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48, 2008, Pages 195–208.

Kita, Y., Hata, S. ve Ido, M.; “Investigation on the mechanism of metal removal”; *Bull. Japan of Prec. Engg.*, Vol 9, No. 4, December 1975, Pages 113-114.

Kita, Y., Ido, M. ve Kawasaki, N.; "A study of metal flow ahead of tool face with large negative rake angle"; Journal of Engineering for Industry, August 1982, Vol. 104, p. 319-325.

Kita, Y. ve Ido, M.; "The mechanism of metal removal by an abrasive tool"; Wear, Vol. 47, 1978, Pages 185-193.

Kita, Y., Ido, M. ve Tuji, Y.; "The influence of the cutting speed on the mechanism of metal removal by an abrasive tool"; Wear, Vol. 71, 1981, Pages 55-63.

Kita, Y. ve Hata, S.; "Investigation on the mechanism of metal removal"; Japan Soc. of Prec. Engg., Vol. 9 No. 4, 1975, Pages 113-114.

Komanduri, R.; "Some aspects of machining with negative rake tools simulating grinding"; Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 11, 1971, Pages 223-233.

Kopalinsky, E. M. ve Oxley, P. L. B.; "An investigation of feed and rake angle on the ratio of feed force to cutting force when machining with negative rake angle tools"; Ann. Of CIRP, Vol 13, No:1, 1984, Pages 43-46.

Kopalinsky, E. M. ve Oxley, P. L. B.; "Investigation of the deformation and damage sustained by a wearing surface in sliding metallic friction"; Journal of Tribology, Vol. 117, 1995, Pages 315-320.

Kountanya, K. R. ve Endres, W. J.; "A high-magnification experimental study of orthogonal cutting with edge-honed tools"; Proceedings of 2001 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, MED-233317, 2001, Pages 1-8.

Lucca, D.A., Rhoer, R. L. ve Komanduri, R.; "Energy dissipation in the ultraprecision machining of copper"; Annals of the CIRP, 41, 1992.

Lee, E.H. ve Shaffer, B.W.; "The theory of plasticity applied to a problem of machining"; Trans. ASME 73, 1951, Pages 405-413.

Makino, R. ve Usui E.; "An analysis of stress and strain distributions in the plastic region of slow speed, steady-state machining"; Bull. Japan of Prec. Engg., Vol 7, No. 2, 1973, pages 43-50.

Manjunathaiah, J.; Analysis and a new model for the orthogonal machining process in the presence of edge-radiused (non-sharp) tools; Doktora tezi, University of Michigan, 1998.

Manjunathaiah, J. ve Endres J. W.; "A new model and analysis of orthogonal machining with an edge-radiused tool"; Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 122, August 2000, Pages 384-390.

Manjunathaiah, J. ve Endres, J.W.; "Effects of a honed cutting edge in machining"; S. M. Wu Symposium, Vol. 2, 1996, Pages 25-30.

Manjunathaiah, J. ve Endres, J.W.; "A new model and analysis of orthogonal machining with an edge honed tool"; Dep. Mec. Eng. Dep., 1999, Pages 1-16.

Merchant, M. E.; Basic mechanics of metal cutting process.; Journal of Applied Mechanics, 66, 1944.

Okushima, K. ve Kakino, Y.; “Study on the generating of machined surface”; Bulletin of ASME Vol. 12, No. 49, 1969, Pages 141-148.

Oxley, P. L. B.; The mechanics of metal cutting. An analytical approach to assessing machinability. Ellis Horwood Limited, 1989.

Ozel, T., Hsu T. ve Zeren, E.; “Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel”; Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2005, No 25, P. 262–269.

Palmer, W. B. ve Yeo, R. C.; “Metal flow near the tool point during orthogonal cutting with a blunt tool”; Proceedings of the 4th International MTDR Conference, Oxford, 1963, P.61-71.

Petryk, H.; “Slip line field solutions for sliding contact”; Prec ImechE, 1987, Vol. 2, P. 987-994.

Sartkulvanich, P., Al-zkeri I., Yen, Y. ve Altan T.; “Investigation of the effect of tool edge geometry upon cutting variables, tool wear and burr formation using finite element simulation”; Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications, 2004, P. 1347-1352.

Sarwar, M. ve Thompson, P. J.; “Cutting action of blunt tools”; In Proc., 22nd International MTDR conference, Oxford, 1981.

Schimmel, R. J.; Analyzing and modeling the effects of tool edge geometry in machining, Yüksek lisans tezi, The University of Michigan, 1999.

Tamura, K. ve Nakayama, K.; “Size effect in metal-cutting force”; Journal of Engineering for Industry, 1968, P. 119-126.

Waldorf, D. J., DeVor, R. E. ve Kapoor, S. G.; “A slip-line field for ploughing during orthogonal cutting”; Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 120, November 1998, Pages 693-699.

Wang, W.; The experimental investigation on the effect of tool edge radius in orthogonal metal cutting; Yüksek lisans tezi, Utah state university, 2003.

Warnecke, G.; “A new method for visualizing the cutting process”; Man. Eng. Trans., 1977, Pages 229-236.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	30.11.1977	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-1995	Ataköy Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi, Mak. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Prog.
Doktora	2003-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Prog.

Çalıştığı kurum(lar)

2002-2003	İçdaş Demir Çelik Mekanik Bakım Mühendisi
2003- Devam ediyor	Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Mekanik Bakım Mühendisi