

**AISI4340 MALZEMENİN TORNALANMASINDA OLUŞAN  
KESME KUVVETLERİNİN SONLU ELEMANLAR  
YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Dursun APAYDIN**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2009**

**T.C.  
AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AISI4340 MALZEMENİN TORNALANMASINDA OLUŞAN KESME  
KUVVETLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ**

**Dursun APAYDIN**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ**

**MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2009**

## ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ danışmanlığında, Dursun APAYDIN tarafından hazırlanan“ AISI 4340 Malzemenin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi”; başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca;

12/ 06/ 2009

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ	
Üye	Doç. Dr. Mehmet ÇOLAKOĞLU	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Adem ÇİÇEK	

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT

Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	3
2. TALAŞ OLUŞUM MEKANİĞİ	18
2.1 Giriş	18
2.2 Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler	19
2.3. Talaş Kaldırmada Meydana Gelen Kesme Kuvvetleri	20
2.4. Takım-Talaş Ara Yüzeyindeki Sürtünme	23
2.5. Kayma Düzlemi ve Kayma Açısı	23
2.6 Dik ve Eğik Kesme	27
2.7 Takım-Talaş Temas Boyu	27
2.8 Takım Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler	32
2.9 Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu	34
2.10 Kesici Takımların Kaplanması	36
3. KESME İŞLEMİNİN NÜMERİK MODELLENMESİ	42
3.1 Sonlu Elemanlar Metodu	42
3.2 Malzeme Modeli	47
3.3 Kesme Kuvveti ve Gerilmelerin Modellenmesi	50
4. MATERYAL VE METOD	51
4.1 Deneysel Çalışmalar	51
4.2 İş Parçası Numunesinin Genel Özellikleri	51
4.3 Ortogonal Kesme İşlemi İçin Deney Numunesi	52
4.4 Kesici Takım ve Kesme Parametreleri	53

4.5 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları	55
4.6 Malzeme Modelinin Tespiti	56
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	57
5.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi	57
5.2 Deneysel ve Nümerik Verilerin Karşılaştırılması	61
5.2.1 Kesme Hızının Etkisi	61
5.2.2 İlerleme Hızının Etkisi	67
5.3 Kesme Sıcaklığının Değişimi	71
5.4 Takım Sıcaklığının Değişimi	73
5.5 Takım Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler	78
6. SONUÇ	84
6.1 Öneriler	86
7. KAYNAKLAR	88
7.1 İnternet Kaynakları	94
ÖZGEÇMİŞ	95

**ÖZET**  
**Yüksek Lisans**  
**AISI 4340 MALZEMENİN TORNALANMASINDA OLUŞAN**  
**KESME KUVVETLERİNİN**  
**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ**

**Dursun APAYDIN**

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makine Eğitimi**

**Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ**

Bu çalışmada, AISI 4340 malzemesinin tornalanması esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Bu amaçla kaplanmış ( $TiCN+Al_2O_3+TiN$ ,  $Al_2O_3$ ) ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak ortogonal kesme şartlarında kesme deneyleri yapılmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri 9257B tipi (Kistler) dinamometresi aracılığı ile ölçülmüştür. Kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen deneysel sonuçlar nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Nümerik modelleme için Deform-2D programı, malzeme modeli olarak da Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri için elde edilen deneysel sonuçlar nümerik sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların büyük oranda örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bununla birlikte her bir kesici takım için kesme esnasında meydana gelen kesme sıcaklığı ve takım yüzeyine etkiyen gerilme değerleri de sonlu eleman çözümleri sonrasında elde edilmiştir.

**2009, 95 sayfa**

**Anahtar kelimeler:** Ortogonal kesme, Kesme kuvvetleri, Kesme sıcaklığı, Sonlu elemanlar metodu, Kesici takım gerilmeleri

## **ABSTRACT**

Master Science

### **THE MODELLING OF CUTTING FORCES OCCURING ON TURNED AISI 4340 MATERIAL BY THE FINITE ELEMENTS METHOD**

Dursun APAYDIN

**Afyon Kocatepe University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Supervisor:** Assoc. Prof. Kubilay ASLANTAŞ

In this study, the cutting forces occurring during the turning of AISI 4340 material has been analyzed both experimentally and numerically. For this purpose, machining tests were carried out under orthogonal cutting conditions that used different cutting tools such as coated (TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and uncoated cutting tools. The cutting forces were measured by means of 9257B type Kistler dynamometer. Experimental results obtained from cutting test were compared with numerical results. Deform 2D finite element package program was used and Johnson-Cook material model was assigned as a material model in the numerical analysis. After machining tests, the experimental and numerical results based on cutting parameters and cutting tool types were compared. It was observed that experimental and numerical results overlapped each other. Additionally, cutting temperature and tool stress occurring for each cutting tool and cutting parameters during machining tests were obtained.

**2009, 95 pages**

**Keywords:** Orthogonal cutting, Cutting force, Finite element method, Cutting temperature, Tool stress,

## TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve problem çözümünde bana destek olan, çalışmalarımı gerçekleştirmemde maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli görüşleri ile bana yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında ve nümerik çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde, literatür araştırmalarında bana yardımını ve desteğini esirgemeyen, her zaman hoşgörü nazik ve beyefendi kişiliğı ile saygı duyduğum sayın Arş. Gör. İrfan UCUN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmamda manevi destekleriyle her an yanımda olan meslektaşlarım, Afyonkarahisar Merkez Endüstri Meslek Lisesi Makine Teknolojisi Alanı öğretmenlerine, Bilişim Teknolojileri Alanı Şefi değerli arkadaşım Hüseyin DOĞANLI' ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen başarılarımda benden daha fazla hak sahibi olan eşime, çocuklarıma ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan anneme babama ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

$\beta$	Sürtünme açısı ( $^{\circ}$ )
$\alpha$	Talaş açısı, ( $^{\circ}$ )
$\phi$	Kayma açısı, ( $^{\circ}$ )
$F_f$	Takım yüzeyi üzerindeki sürtünme kuvveti (N)
$F_n$	Takım yüzeyi üzerindeki normal kuvvet (N)
$N_c$	Takım yüzeyine etki eden normal kuvvet (N)
$R$	Takım kuvveti sonucu oluşan bileşke kuvveti (N)
$N_s$	Kayma düzlemine etki eden normal kuvvet (N)
$F_a$	İlerleme kuvveti (N)
$F_s$	Kayma düzlemine etki eden sürtünme kuvveti (N)
$L$	İşleme boyu (mm)
$n$	Takım ömrü üssü
$V_c$	Kesme hızı (m/dak.)
$l_c$	Talaş takım temas boyu (mm)
$t_1$	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
$t_2$	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
$F_p$	Takıma etki eden asıl kesme kuvveti (N)
$F_t$	Takıma etki eden pasif kesme kuvveti (N)
$A_s$	Kayma bölgesindeki talaş kesiti ( $\text{mm}^2$ )
$r$	Talaş oranı
$K$	İş parçasının ısı yayılım katsayısı
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$C$	Özgül ısı kapasitesi
$K$	Global rijitlik matrisi

## 2. Kısaltmalar

AISI	American Iron and Steel Institute- Amerikan demir elik ensitüsü (Amerikan elik standartı)
BUE	Bulit-up edge- kesici kenar üzerinde talaş yığılması
CNC	Computer Numerical Control-Bilgisayarlı Sayısal Denetim
FEM	Finite Element Method Sonlu elemanlar metodu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
		No
Şekil 1.1	AISI 4340 çeliğinin (32HRC) yüksek hızlarda işlenmesinde meydana gelen kesikli talaş oluşumu.	4
Şekil 1.2	Pah açısına bağlı olarak asıl kesme ve pasif kesme kuvveti üzerindeki etkisi	5
Şekil 1.3	Farklı talaş açılarında oluşan talaş biçimleri a) $-10^\circ$ b) $0^\circ$ c) $10^\circ$ d) $20^\circ$	6
Şekil 1.4	AISI 1045 için farklı malzeme modelleri kullanılarak elde edilen şekil değiştirme hızı değerleri	7
Şekil 1.5	Kesme hızına bağlı olarak meydana gelen talaş şeklindeki değişim	8
Şekil 1.6	Ortogonal kesme işleminde birinci deformasyon bölgesindeki kayma bantlarının oluşumu ( $V = 600\text{m/dak}$ , $f=0,5\text{mm/dev}$ )	9
Şekil 1.7	Takım yüzeyine etkiyen gerilmeye bağlı olarak kayma sürtünme faktörü ve sürtünme katsayısının değişimi	11
Şekil 1.8	Ortogonal kesme işleminde deformasyon bölgelerinde meydana gelen şekil değiştirme hızı	11
Şekil 1.9	AISI 4340 malzemesi için asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması	12
Şekil 1.10	120 m/dak kesme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımında meydana gelen gerilme dağılımlarının mm/dev) ( $a= 0,05\text{ mm/dev}$ , $b=0,075\text{ mm/dev}$ , $c=0,1\text{ mm/dev}$ , $d=0,2\text{ mm/dev}$ .	13
Şekil 1.11	Yen ve arkadaşlarının çalışmasında kullandığı a) üç farklı kaplama kalınlığına sahip b) eşit kaplama kalınlığına sahip kompozit kaplama modelleri	13
Şekil 1.12	TiAlN kaplanmış PCBN kesici takım için sonlu eleman çözümleri a) Kaplanmamış PCBN b) TiAlN kaplanmış	16
Şekil 1.12 (Devamı)	TiAlN kaplanmış PCBN kesici takım için sonlu eleman çözümleri c) İş parçasındaki en sıcak nokta d) Takımdaki en sıcak nokta	17

Şekil 2.1	Kesici takım ile malzeme üzerinden talaş oluşumu	19
Şekil 2.2	Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi	20
Şekil 2.3	Talaş kaldırma işleminde kesici takımı etkileyen kesme kuvvetleri	21
Şekil 2.4	Ortogonal kesme işleminde meydana gelen kesme diyagramı	22
Şekil 2.5	Farklı iş parçası malzemelerine ait kayma açısının farklı teoriler için değişimi	26
Şekil 2.6	Dik kesme ve eğik kesmenin şematik gösterimi a) dik kesme, b) Eğik kesme	27
Şekil 2.7	Ortogonal kesme işleminde meydana gelen takım-talaş boyunun (lc) şematik gösterimi	29
Şekil 2.8	Ortogonal kesme şartlarında takım talaş yüzeyinde oluşan normal ve teğetsel gerilmelerin değişimi	30
Şekil 2.9	Ortogonal kesme işleminde takım-talaş temas boyunun etkisi	31
Şekil 2.10	Talaş yüzeyi üzerindeki gerilme dağılımı modelleri	33
Şekil 2.11	Ortogonal kesme şartlarında takım talaş yüzeyinde oluşan normal ve teğetsel gerilmelerin değişimi	34
Şekil 2.12	ortogonal kesme işleminde kesme sıcaklığını tayin eden ısı kaynakları	35
Şekil 2.13	Kesme esnasında meydana gelen ısının yayılımının takım, talaş ve iş parçasına göre dağılımı.	35
Şekil 2.14	Sinterlenmiş karbür kesici takımlarda kullanılan değişik kaplama tabakaları	38
Şekil 2.15	Kaplama türü ve sayısının ısı yayılımı üzerindeki etkisinin şematik ifadesi	40
Şekil 2.16	Kaplama türünün yanak aşınması ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi	41
Şekil 3.1	Metal kesme işleminin modellenmesinde kullanılan yaklaşımların yıllara göre dağılımı	43
Şekil 3.2	Ortogonal kesme işleminde Eulerian yaklaşımı	44
Şekil 3.3	Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Lagrangian yaklaşımı	45

Şekil 3.4	Ortagonal kesme işlemindeki ALE yaklaşımı ile elde edilmiş sonuçlar.	45
Şekil 3.5	Bazı ticari yazılımlar kullanılarak ortagonal kesme işleminin modellenmesi a)Deform-2D b) ABACUS c) I-FORM2 d) FORGE2 e) and f) AvantEdge	46
Şekil 3.6	AISI 4340 malzemesinin şekil değiştirme hızında meydana gelen flow stres değerleri	49
Şekil 4.1	Deney numunesi teknik resmi ve işleme şekli	53
Şekil 4.2	Nümerik çözümlerde kullanılan iki boyutlu sonlu elemanlar modeli	56
Şekil 5.1	Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	57
Şekil 5.2	TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	58
Şekil 5.3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	59
Şekil 5.4	Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi.	60
Şekil 5.5	TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi	60
Şekil 5.6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi	61
Şekil 5.7	Kaplamasız ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	63
Şekil 5.8	Kaplamasız ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.	63
Şekil 5.9	TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.	64

Şekil 5.10	Kaplamasız ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.	65
Şekil 5.11	Kaplamasız ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.	66
Şekil 5.12	TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.	67
Şekil 5.13	Kaplamasız ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	68
Şekil 5.14	Kaplamasız ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	69
Şekil 5.15	Kaplamasız ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN kaplı kesici takım için elde edilen pasif kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	70
Şekil 5.16	Kaplamasız ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı kesici takım için elde edilen pasif kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	70
Şekil 5.17	İlerleme hızına bağlı olarak takım üzerinde oluşan kesme sıcaklığı değişimi a)Kaplamasız b) TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN c) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	71
Şekil 5.18	180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişim	74
Şekil 5.19	300 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	75
Şekil 5.20	Kaplamasız karbür kesici ile farklı kesme hızlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	76

Şekil5.21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplı kesici ile farklı kesme hazlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	76
Şekil 5.22	Farklı kesme hazlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	77
Şekil 5.23	Nümerik modellemede 240 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan sıcaklığın kesici takım üzerine dağılımı a) WC 240 b) TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN c) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	78
Şekil 5.24	Kaplamasız karbür ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takım ile 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme hızının gerilme üzerindeki etkisi.	79
Şekil 5.25	Kaplamasız karbür kesici ve TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamalı kesici takım ile 0,2 mm/dev ilerleme hızında kesme hızının gerilme üzerindeki etkisi.	79
Şekil 5.26	180 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımda meydana gelen efektif gerilme dağılımları a)WC, b) TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN c) Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80
Şekil 5.27	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.	81
Şekil 5.28	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.	82
Şekil 5.29	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.	83

## RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Resim 4.1	Deney numunesi resmi	52
Resim 4.2	Dinamometrenin tezgâha bağlanmış şekli.	53
Resim 4.3	Dinamometrenin bilgisayara bağlantısı.	54
Resim 4.4	Deneylerde kullanılan takım tutucu	55



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1 AISI 4340 malzemesine ait kimyasal birleşim oranları (% ağırlık)özellikleri	52
Çizelge 4.2 AISI 4340 malzemesine ait fiziksel özellikleri	52
Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan kesici takım özellikleri	54
Çizelge 4.4 AISI 4340 için malzeme modeline ait katsayılar	56

# GİRİŞ

## 1.1 Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Takım tezgâhlarında malzemelerin üzerinden talaş kaldırma işlemleri farklı tezgâhlarla ve farklı usuller kullanılarak yapılmaktadır. Talaşlı imalatta takım ömrü, üretimin daha uzun yapılabilmesi için önemli bir faktör olduğundan, yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır. Talaş kaldırma sırasında ideal şartlarda kesici takıma ait uygun kesme parametrelerin kullanılması takım ömrünün uzamasına ve istenilen sayıda malzeme üretiminin yapılmasına imkân sağladığı bilinmektedir. Kullanılan kesici takım malzemeleri araştırılırken sadece takımların iyileştirilmesi değil, hassas yüzey kalitesi, ekonomik olması ve daha az güç sarfiyatı ve ekonomiklik göz önünde bulundurulmalıdır.

Karbür ve kaplamalı karbür kesici takımlar imalat endüstrisinde sağladıkları avantajlarla geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu sebeple kaplamalı karbür, kesici takımların kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır. Daha uzun takım ömrü, daha yüksek kesme hızlarında çalışma olanağı ve maksimum üretim artışı sağlamak amacıyla kaplamasız karbür kesici takımlar TiC, TiN, TiCN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi malzemeler kullanılarak kaplanmaktadır.

Kaplama; kesme kuvvetlerini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Yapılan araştırmalarda, TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı karbür kesici takımların aşınmaya karşı dirençli olmasının nedeni olarak kesici yüzeyin difüzyon aşınmasına karşı sahip olduğu direnç gösterilmektedir. Bu nedenle çeliklerin kaplamalı karbür kesici takımlarla yüksek hızlarda işlenmesinde, kaplamasız takımlara göre kesici takımın aşınma dayanımı ve takım ömrünü yaklaşık 2–3 kat artırmaktadır. Çelik malzemeler yüksek kesme hızlarında işlendiklerinde, kaplama yüzeyindeki yapışmalar önlenememektedir. Buna karşın düşük kesme hızlarında da takım ucunda meydana gelen talaş yığılması ihmal edilmekte ve nihayetinde elde edilen yüzey kalitesi bozulmaktadır. Kaplanmış takımların difüzyona karşı dirençli olması ve sürtünme katsayılarının düşük olması yukarıdaki bahsedilen problemleri en aza indirmektedir.

Üretimdeki esas amaç ekonomik olarak en az maliyet, kullanıcı ve tezgâh bakımından en güvenli şartlar ve üretilen iş parçası için en uygun işleme koşullarının yerine getirilmesidir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi iş parçası kesici takım ve kullanılan kesme yöntemi ilişkisinin iyi kurulması ile mümkün olmaktadır. Doğru seçilmemiş işleme parametreleri veya körelmiş kesici takımlar yüzey kalitesinin bozuk olmasına neden olduğu gibi, istenilen ölçü tamlığında üretilememesine neden olmaktadır. Malzeme üretiminde düşük güç sarfiyatı ve minimum takım aşınmasının hedeflenmesi, talaş kaldırma işlemini ekonomik kılacaktır.

Kesme işlemlerinin deneysel tarafında elde edilen veriler kimi zaman yeterli olmayabilir. Bir kesme deneyinde elde edilen temel veriler; kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı ile sınırlıdır. Oysaki takımda meydana gelen gerilmeleri ve kaplamanın takım gerilmeleri üzerindeki etkisini deneysel olarak tespit etmek neredeyse imkânsızdır. Deneysel veri almanın mümkün olmadığı durumlarda ise çeşitli nümerik yaklaşımlarla gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek mümkündür. Yapılan bu tez çalışmasıyla farklı kaplama türüne sahip sinterlenmiş karbür kesiciler ile AISI 4340 çeliğinin kesilebilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmayla elde edilmesi amaçlanan temel çıktıları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Kaplamasız,  $Al_2O_3$  kaplanmış ve çok kaplı ( $TiCN + Al_2O_3 + TiN$ ) kesici takımlarla AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde kesme kuvvetlerinin değişimi elde edilecektir. Böylece kaplama türünün kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi ortaya konmuş olacaktır.
- Sonlu eleman modeli için en uygun malzeme modelinin belirlenmesi.
- Kaplama türünün kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi.
- Kaplama türünün kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin belirlenmesi.
- Kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi.

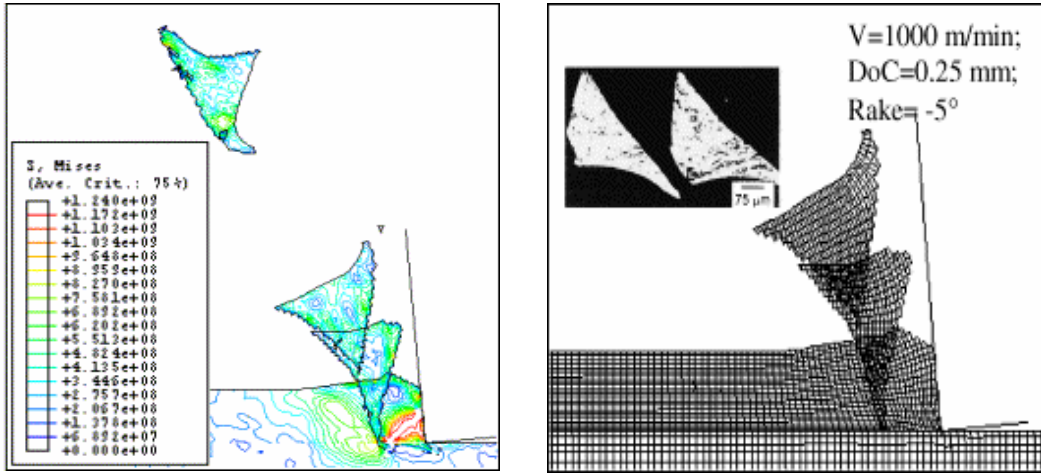
## 1.2 Literatür Özeti

Talaş oluşumu yüksek şekil değiştirme hızlarında sıcaklığın da katkısıyla meydana gelen plastik deformasyon sonucu ortaya çıkan bir sonuçtur. Son yıllarda kesme mekaniği üzerine birçok çalışma yapılmış olup bu anlamda kesme işlemini tanımlamak amacı ile farklı kesme modelleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmaların bazılarında kesme işlemi ile ilgili geliştirilen modeller doğru tanımlanabilirken bazılarında da çözümler tam olarak ifade edilememiştir. Bir kesme modeli geliştirmek amacıyla literatürde analitik ve nümerik olmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmaları üç ana grup altında toplamak mümkündür. Birinci gruptaki çalışmalar çeşitli yöntem ve teknikler kullanılarak yapılan çalışmalardır. İkinci gruptaki çalışmalar analitik yaklaşımlar kullanılarak, deneysel olarak elde edilemeyen verileri elde etmeyi amaçlayan çalışmalardır. Üçüncü grup çalışmalar ise sonlu elemanlar gibi nümerik yaklaşımlar kullanılarak yapılanlardır. Tüm yapılan çalışmalarda ortak amaç; optimum kesme şartlarının elde ederek minimum maliyet ile üretim yapmaktır. Aşağıda, literatürde yer alan bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Qian ve Hossan yaptıkları çalışmada, yüksek hızda ortagonal kesme işleminin nümerik modellemesini iş parçası sertliği, kesici geometrisi, ilerleme hızı ve kesme hızına bağlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada iş parçası olarak AISI 52100 rulman çeliği, AISI H13 sıcak iş çeliği, AISI D2 soğuk iş çeliği ve AISI4340 düşük alaşımlı çelik kullanılmıştır. Kesici takım olarak yüksek sertlikleri ve aşınma dirençlerinden dolayı CBN ve PCBN kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde kesme kuvvetleri ve ilerleme kuvvetleri belirlenmiştir. İş parçası sertliğinin, kesici takım geometrisinin ve ilerleme hızının kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ortaya konulmuştur. Aynı kesme koşullarında AISI 52100 çeliğinin tornalanmasında en yüksek ilerleme kuvveti ve AISI D2 çeliğinin tornalanmasında ise en düşük kesme ve ilerleme kuvveti elde edilirken, AISI 4340 çeliğinin tornalanmasında en yüksek kesme kuvveti elde edilmiştir. Ayrıca, kesme ve ilerleme kuvvetlerinin, ilerleme miktarı, takım uç radyüsü, negatif talaş açısının ve iş parçasının sertliğinin artmasıyla arttığı görülmüştür (Qian and Hossan 2007).

Guo ve Yen yaptıkları çalışmada, sert tornalamada kesikli talaş oluşum mekanizmalarını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. AISI 4340 çeliğinin (32HRC) yüksek hızlarda işlenmesinde meydana gelen kesikli talaş oluşumu için yeni bir metod geliştirmişlerdir. İş parçası malzeme özellikleri için Johnson-Cook malzeme modelinin yanı sıra şekil değiştirme hasar modeli kullanılmıştır (Guo et al. 2004). Simülasyonla elde edilmiş talaş biçimi deneysel çalışmada elde edilen talaş şekli ile oldukça benzer olduğu görülmüştür (Şekil 1.1). Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran temel fark ise; deneysel olarak elde edilen talaş şekli ile nümerik elde edilen talaş şeklinin birbirine çok benzer olmasıdır.



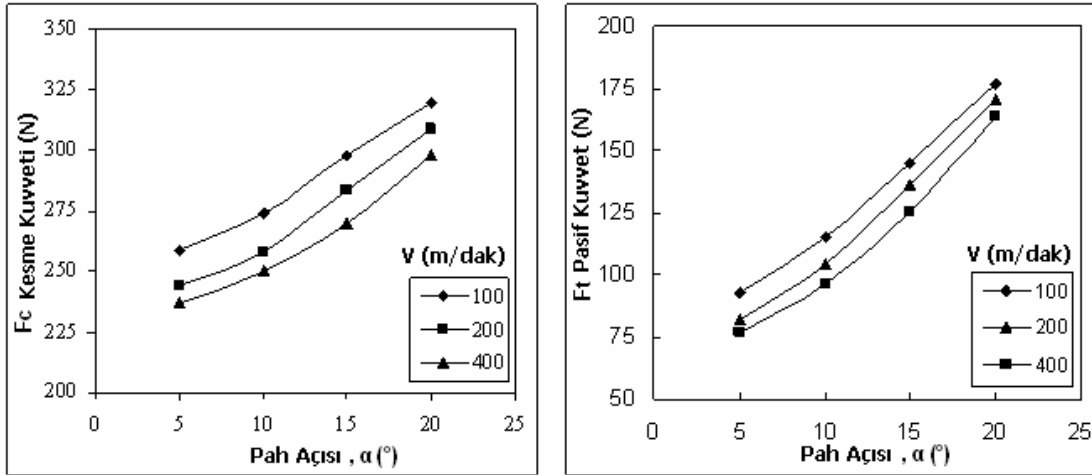
Şekil 1.1 AISI 4340 çeliğinin (32HRC) yüksek hızlarda işlenmesinde meydana gelen kesikli talaş oluşumu (Guo et al. 2004).

kenar radüsünün etkisini araştırmak amacıyla Özel ve Zeren tarafından yapılan diğer bir çalışmada Abaqus yazılımı kullanılarak 1045 çeliğinin işlenebilirliği modellenmiştir. Çalışmada farklı kenar radyüsüne sahip kesici takımlar için sonlu eleman çözümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar artan kenar radyüsünün kesme sıcaklığını ciddi oranda etkilediği gözlemlenmiştir (Özel and Zeren 2005).

Kullanılan kesici takımın geometrisi de yapılan çalışmalara konu olan bir alandır. Gerek kesici uç radüsü ve gerekse kenar radüsü en çok dikkate alınan iki konudur. Kesici kenar radüsünün etkisini ortaya koymak açısından Özel ve Zeren tarafından yapılan bir çalışmada yüksek hızlı kesme sırasında kesici kenar radüsünün gerilme ve kesme

sıcaklığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırmada AISI 4340 çeliği kullanılmış, kesici takım olarak kaplanmamış sinterlenmiş kesici takım kullanılmıştır. Malzeme modeli olarak Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmış ve takım talaş ara yüzündeki sürtünmeyi modellemek için yapışma ve kayma olarak iki farklı bölge tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar deforme olmamış talaş kalınlığının artması ile iş parçasında meydana gelen sıcaklığın arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte kenar radyüsünün artışının gerilme ve sıcaklığı arttırdığı tespit edilmiştir (Özel and Zeren 2006).

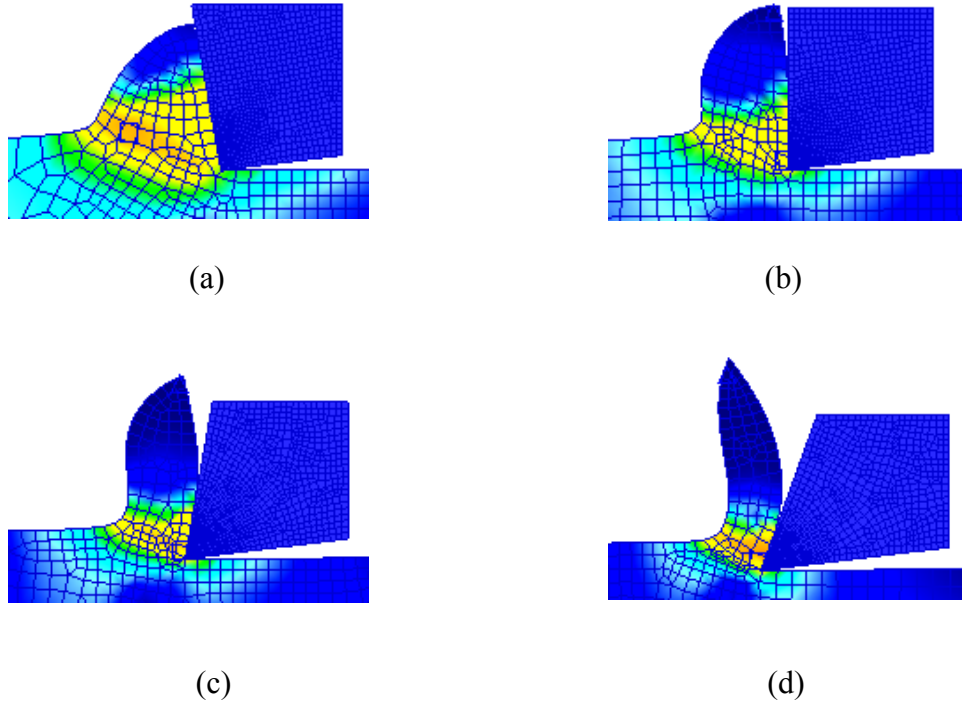
Ucun, vd tarafından yapılan bir çalışmada AISI 1045 çeliğinin işlenmesinde seramik kesici takım geometrisinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değeri tercih edilmiştir. Aynı zamanda çalışmada dört farklı pah açısı ve üç farklı pah uzunluğunun etkisi ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar artan pah açısı hem pasif hem de asıl kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1.2). Bununla birlikte artan pah uzunluğu her iki kuvvetin artmasına neden olmaktadır (Ucun vd. 2008).



Şekil 1.2 Pah açısına bağlı olarak asıl kesme ve pasif kesme kuvveti üzerindeki etkisi (Ucun vd. 2008).

Talaş açısının hem talaş oluşumu hem de kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini ortaya koymak açısından Ucun ve Aslantaş tarafından yapılan nümerik bir çalışmada Inconel 718 malzemesi kullanılmıştır. Çalışmada Deform 2D sonlu eleman programı ve

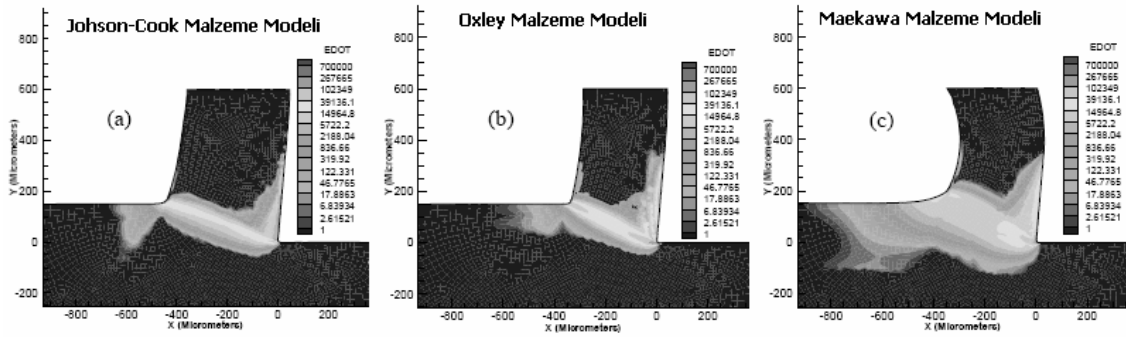
Johanson-Cook malzeme modeli kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı talaş açısı ve üç farklı kesme hızı kullanılmıştır (Ucun ve Aslantaş 2008). Talaş açısına bağlı olarak, oluşan talaş biçimleri de farklılık göstermiştir (Şekil 1.3). Özellikle negatif açılı kesici takımında talaş akışı zorlanmakta ve talaş yığılması meydana gelmektedir. Buda kesme sıcaklığının ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 1.3 Farklı talaş açılarında oluşan talaş biçimleri a)  $-10^\circ$  b)  $0^\circ$  c)  $10^\circ$  d)  $20^\circ$   
(Ucun ve Aslantaş 2008).

İmalat sektöründe bazı çelik malzemeler oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Bu çeliklerden biri de AISI 1045 malzemesidir. Bu malzeme özellikle nümerik modellemeye yönelik yapılan birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmaların birinde AISI 1045 malzemesinin kaplanmamış karbürlü takım kullanılarak işlenebilirliğini modellemiştir. Çalışmada Deform yazılımı kullanılmış olup farklı talaş ve boşluk açıları için çözümler yapılmıştır. İki farklı ilerleme değeri için yapılan çözümlerde kesici takımında meydana gelen gerilme ve sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Malzeme modeli olarak Oxley malzeme modeli kullanılmıştır (Jaharah et al. 2009).

Aynı malzeme kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada da farklı malzeme modelleri kullanılarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır (Sedeh et al. 2005 ). Her bir malzeme modelinde elde edilen kesme kuvvetleri ve talaş kalınlıkları karşılaştırılmıştır (Şekil 1.4). Aynı zamanda pasif kuvvetler açısından Oxley modelinin daha doğru sonuçlar verdiği talaş kalınlığı açısından ise Johnson Cook modelinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir



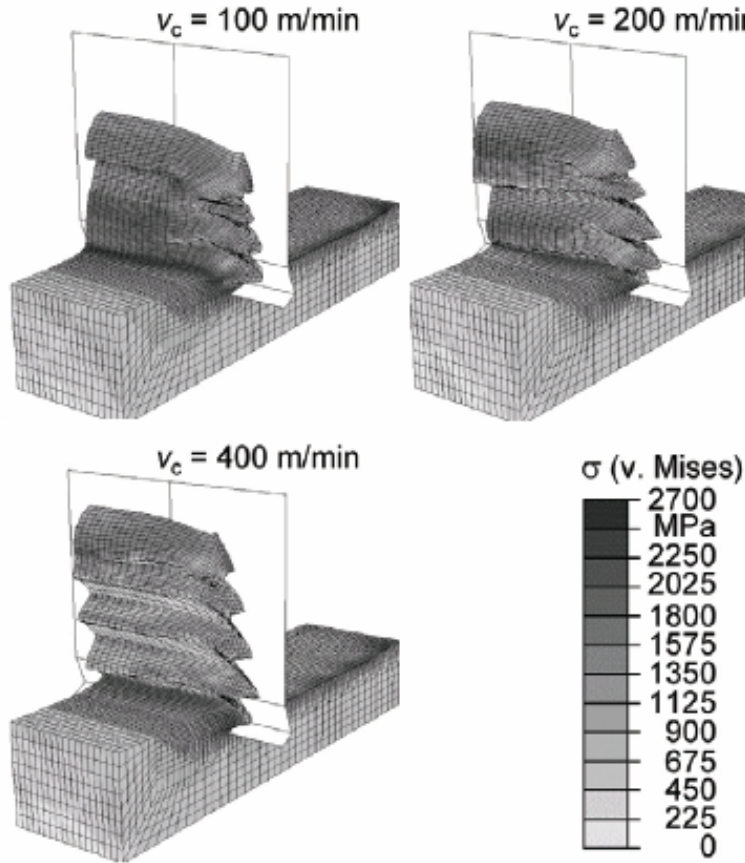
Şekil 1.4 AISI 1045 için farklı malzeme modelleri kullanılarak elde edilen şekil değiştirme hızı değerleri (Sedeh et al. 2005 ).

Titanyum ve alüminyum alaşımı malzemeler özellikle uzay ve uçak sanayinde çokça kullanılması nedeniyle AISI 1045 gibi birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmanın birinde yüksek hızlı kesme sırasında kesici takımında meydana gelen gerilme değerleri modellenmiştir. Çalışmada üç farklı (1045, 4340, Ti6AlV4) malzeme kullanılmıştır. Her bir malzemenin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme sıcaklığı ve takım yüzeyine etkiyen gerilmeler elde edilmiştir (Özel and Zeren 2005).

Lee tarafından yapılan çalışmada sertleştirilmiş çeliğin hem deneysel hemde nümerik olarak işlenebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada AISI 4140 ve AISI D2 çeliği kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında adı geçen çelikler ısıtılarak sertleştirilmiştir. Yapılan kesme deneyleri sonrasında meydana gelen talaş şekilleri, kesme kuvvetleri, talaş kalınlığı ve kayma açısı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı kesme parametreleri için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Bununla birlikte takımında meydana gelen aşınma tipleri ortaya konulmuştur (Lee 2007).



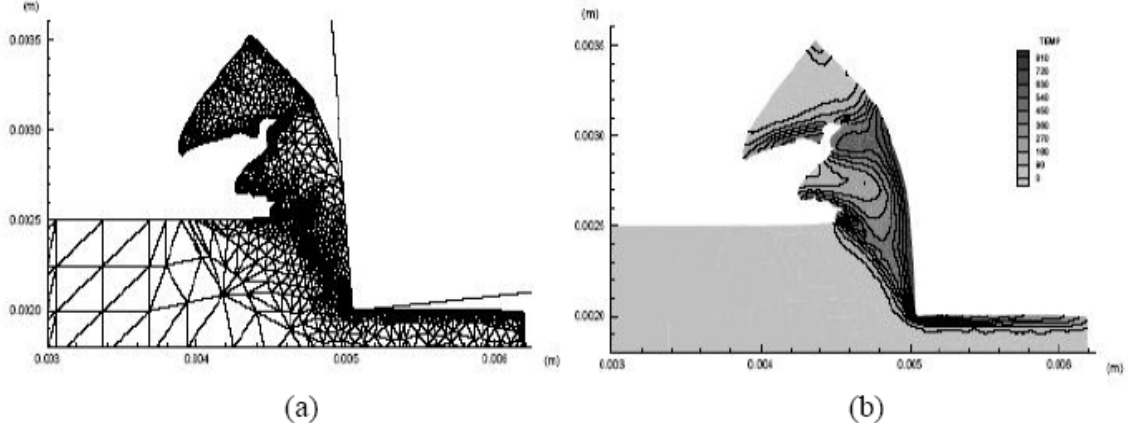
Uhlman ve diğerkleri tarafından yapılan çalışmada, Inconel 718 malzemesinin ortogonal kesme simülasyonu yapılmıştır. Çalışmada tek bir talaş derinliği ve ilerleme değerinin yanı sıra iki farklı kesme hızı (200 ve 800 m/dak.) kullanılmıştır. Çalışmada malzeme modeli olarak Johnson Cook malzeme modeli kullanılmış olup iki farklı ticari yazılım (Abaqus ve Deform) tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Deform-2D'nin deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır (Uhlmann et al. 2007). Ayrıca artan kesme hızıyla birlikte talaş oluşum şekli de önemli şekilde değiştiği ortaya konulmuştur (Şekil 1.5). Artan kesme hızıyla ortaya çıkan talaş şekli daha çok testere talaş şeklini almaktadır. Bunun da nedeni; artan kesme hızının şekil değiştirme hızının artmasına neden olmasıdır.



Şekil 1.5. Kesme hızına bağlı olarak meydana gelen talaş şeklindeki değişim (Uhlmann et al. 2007).

Mitrofanov ve diğeri tarafından yapılan çalışmada talaş kaldırma işlemi termomekanik olarak modellenmeye çalışılmıştır. Çalışmada MSC-MARC sonlu eleman programı kullanılmıştır. Çalışmada malzeme modeli olarak yine Johnson Cook malzeme modeli kullanılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Mitrofanov et al. 2005).

Marusich ve Ortiz Lagrangian yaklaşımını kullanarak bir sonlu eleman programı tasarlamışlardır (Marusich and Ortiz 2001). Bu yazılım talaş kaldırma işlemi için tasarlanmış ve içerisinde birçok malzemeye ait malzeme modelini içermektedir. Çalışmada AISI 4340 çeliği kullanılarak yapılan modellemede farklı kesme hızları için çözümler yapılmıştır. Nümerik çözümlerden elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Nümerik çözümlerde üç farklı kesme hızı (600, 1200 and 1800 m/dak.) ve tek ilerleme değeri (0,5mm/dev) kullanılmıştır (Şekil 1.6). Çalışmada kayma bölgesindeki termal yumuşama ve kayma bantlarının oluştuğu gözlemlenmiştir



Şekil 1.6 Ortogonal kesme işleminde birinci deformasyon bölgesindeki kayma bantlarının oluşumu ( $V = 600\text{m/dak}$ ,  $f=0,5\text{mm/dev}$ ) (Marusich and Ortiz 2001).

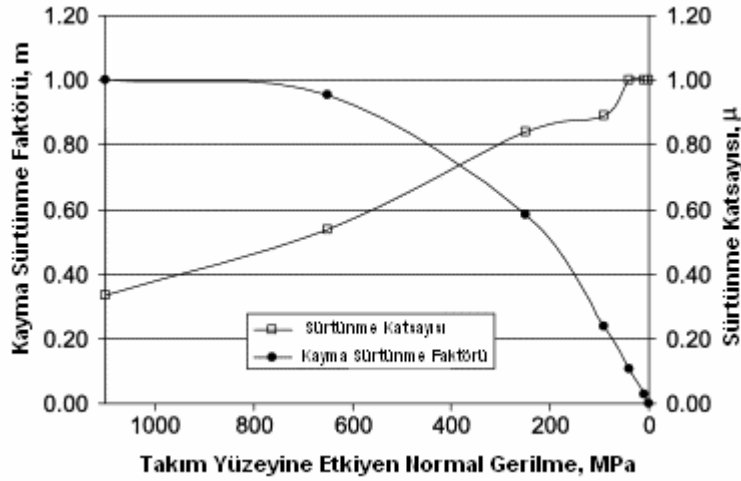
Joshi tarafından yapılan çalışmada Inconel 718 süper alaşım malzemesinin ortogonal kesme şartlarında kesilebilirliği sonlu elemanlar modeli ile modellenmiştir. Çalışmada altı farklı kesme hızı ve üç farklı talaş açısı ve bir sabit ilerleme değeri kullanılmıştır. Çalışma sonunda kesme esnasında meydana gelen kesme sıcaklığı kesme kuvvetleri ve

talaş oluşum şekli elde edilmiştir. Elde edilen nümerik veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Joshi 2000). Mocginley ve monaklan tarafından yapılan çalışmada kaplanmış karbür kesici takımlarla Inconel 718 malzemesinin kesilebilirliği FORGE2 sonlu eleman programı ile modellenmiştir. Çalışmada deneysel ve nümerik olarak elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır (Ginley and Monaghan 2001).

Ucun ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada ise Inconel 718 malzemesinin farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde işlenmesi modellenmiştir. Çalışmada artan kesme hızı ile birlikte takım yüzeyinde meydana gelen maksimum sıcaklığın da arttığı gözlemlenmiştir (Ucun vd. 2007).

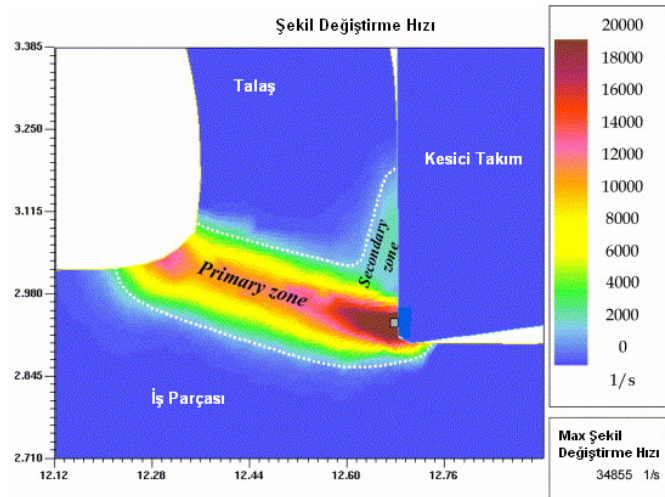
Özlü ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada ortogonal kesme işlemi termomekanik olarak modellenmiştir. Çalışmada takım talaş temas boyu iki ayrı bölge ile tanımlanmıştır. Bu bölgeler yapışma ve kaynak olarak tanımlanmıştır. İki farklı malzeme için (AISI 1050-AISI 4340 ) yapılan nümerik çözümler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada iki farklı kesme hızı ve altı farklı ilerleme değeri kullanılmıştır (Özlü, vd. 2008).

Talaş kaldırma sırasında elde edilmek istenen bazı verileri (takım-talaş ara yüzeyindeki tribolojik olgular, takım yüzeyine etkiyen gerilmeler vb) deneysel olarak tespit etmek ya çok zordur ya da oldukça pahalı ekipmanlar gerektirir. Bunun yerine geliştirilmiş bir takım analitik ve nümerik metotlar oldukça iyi sonuç vermektedir. Özellikle takım-talaş ara yüzeyinin modellenmesi için çok sayıda öneri ve yaklaşımlar sunulmuştur. Özel tarafından yapılan bir çalışmada takım-talaş ara yüzeyi için farklı sürtünme modellerinin kesme kuvvetleri, kayma açısı, kesme sıcaklığı ve takım-talaş temas boyu üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Özel 2006). Takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme durumu takım yüzeyine etkiyen gerilme değeriyle tanımlanmıştır (şekil 1.7).



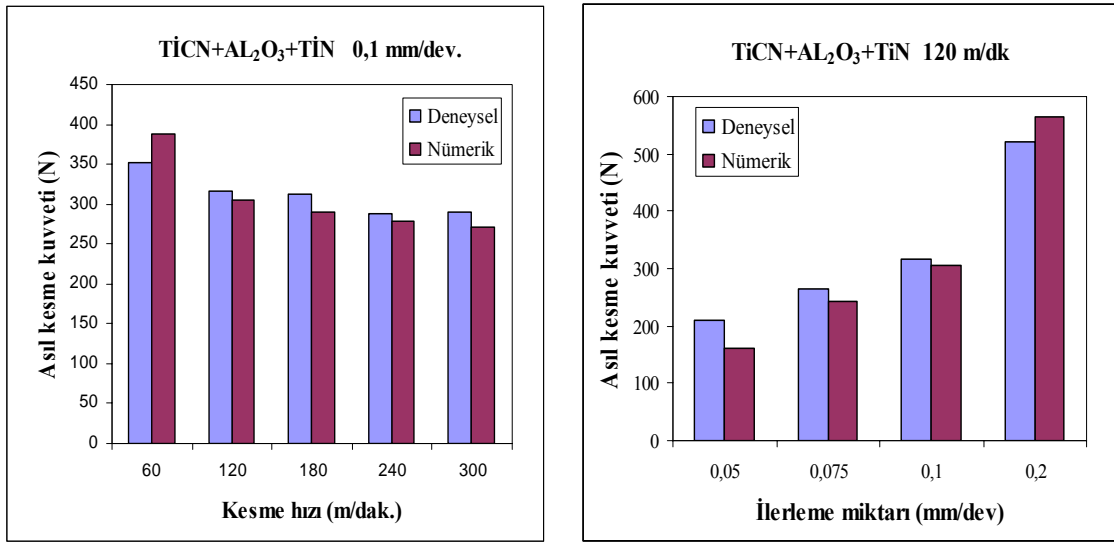
Şekil 1.7 Takım yüzeyine etkiyen gerilmeye bağlı olarak kayma sürtünme faktörü ve sürtünme katsayısının değişimi (Özel 2006).

Yapılan nümerik modellemelerde ilgi odağı olan diğer bir konu ise birinci deformasyon bölgesi olmuştur. Bilindiği üzere şekil değiştirme hızı birinci deformasyon bölgesinde maksimumdur. Ayrıca mekanik enerjinin yaklaşık %90'nın ısı enerjisine dönüştüğü bir bölgedir. Bu bölgede meydana gelen termal yumuşama nedeniyle artan kesme hızıyla birlikte kesme kuvvetleri de azalmaktadır. Şekil 1.8 de talaş kaldırma sırasında meydana gelen şekil değiştirme hızının birinci deformasyon bölgesinde (Primary zone) ve ikinci deformasyon bölgesindeki (Secondary zone) değişimi verilmiştir.

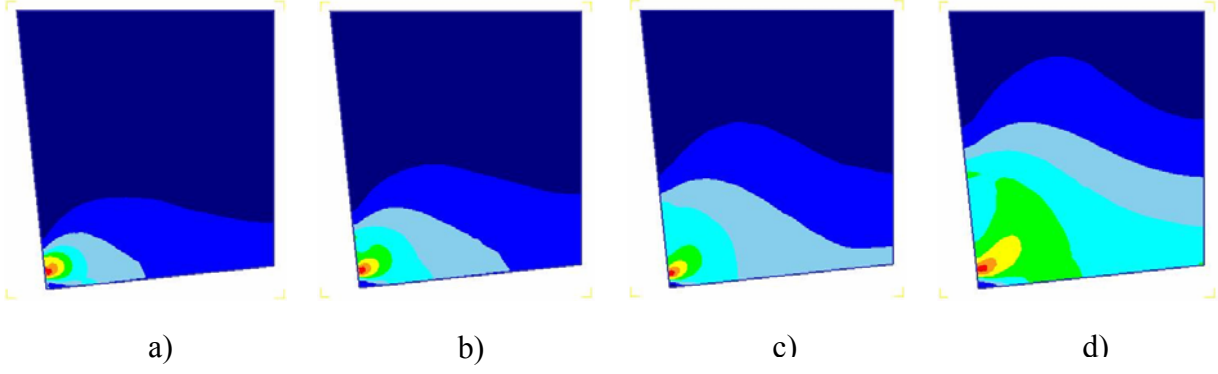


Şekil 1.8 Ortogonal kesme işleminde deformasyon bölgelerinde meydana gelen şekil değiştirme hızı (Özel 2006).

Kesici takımların kaplanması özellikle takım ömrü açısından oldukça önemlidir. Kaplama malzemesi, talaş kaldırma esnasında takım-talaş ara yüzündeki sürtünme kuvvetlerinin azalmasına dolayısıyla da takım aşınmasının minimum düzeyde gerçekleşmesine neden olur. Kaplama türünün ve kaplama kalınlığının etkisini araştırmak üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde çok kaplamalı kesici takımların kesme işleminde kullanımının sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Çalışmada AISI 4340 çeliği kullanılmış olup çok kaplı (TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN) kesici takım ile yapılan ortogonal tornalama işlemi neticesinde elde edilen kesme kuvvetleri verilmiştir (Şekil 1.9). Ayrıca farklı ilerleme değerleri için kesici takımda meydana gelen gerilme dağılımları da çalışmada sunulmuştur (Ucun vd. 2009). Elde edilen sonuçlara göre artan ilerleme değerlerine bağlı olarak birim zamanda kaldırılan talaş kesiti artmaktadır (Şekil 1.10). Bunun sonucu olarak da kesici takıma etkiyen basınç ve gerilme artmaktadır.

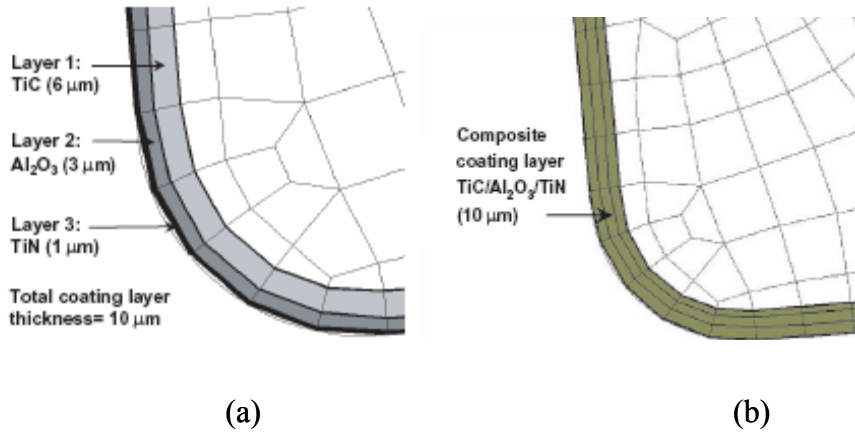


Şekil 1.9. AISI 4340 malzemesi için asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması (Ucun vd. 2009).



Şekil 1.10. 120 m/dak kesme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımında meydana gelen gerilme dağılımları a) 0,05 mm/dev. b) 0,075 mm/dev. c) 0,1 mm/dev. d) 0,2 mm/dev) (Ucun vd. 2009).

Yen ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada çok katmanlı ( $1\mu\text{m}$  -TiN/  $3\mu\text{m}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ /  $6\mu\text{m}$ -TiC) kesici takımlar kullanarak ortogonal kesme işlemini nümerik olarak incelemiştirlerdir. Çalışmada talaş geometrisi, kesme kuvvetleri, takım sıcaklığı ve gerilme değerleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak tahmin edilmiştir (Yen, et al.2004). Yapılan çalışmada iki farklı kaplama modeli (Şekil 1.11) kullanılarak takım kaplamalarının termal etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kompozit katmanlı kesici takım ile tek katmanlı kesici takım arasında kesme kuvvetleri açısından önemli bir fark bulunmamaktadır. Çalışmada aynı zamanda takım-talaş temas boyu, kayma açısı ve talaş kalınlığının her iki kaplama türüne bağlı olarak değişimi de araştırılmıştır.



Şekil 1.11 Yen ve arkadaşlarının çalışmasında kullandığı a) üç farklı kaplama kalınlığına sahip b) eşit kaplama kalınlığına sahip kompozit kaplama modelleri (Yen, et al.2004).

Grzesik yapmış olduğu çalışmada, karbonlu ve paslanmaz çeliklerin ortogonal kesme işlemi sırasında takım-talaş ara yüzeyi davranışlarını, sıcaklığı ve ısı transferi olaylarını deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Orta seviyedeki  $Al_2O_3$  katmanlı geliştirilmiş kaplama kullanımı, diğer ticari kaplamalardan farklı olarak düşük sıcaklıkta talaş içinde ısı akışını büyük ölçüde geliştirebilir. Bu durum ısı yayılımı analizi ile ispatlanmıştır. Elde edilen veriler, sürtünme ve ısı transferine göre takım seçiminin optimizasyonuna ve tavsiye edilen temas sıcaklığının korunması için yardımcı olabilir (Grzesik 2001).

Grzesik ve diğerlerinin yapmış oldukları diğer bir çalışmada, belirli kesme koşullarında ve farklı kaplamalı kesici takımlar için kesme kuvvetleri ve spesifik kesme enerjisi sonlu elemanlar metodu kullanarak elde etmeye çalışmışlardır. Kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlarla yapılan ortogonal kesme işleminin simülasyonlarında ticari Thirdwave AdvantEdge yazılımı kullanılmıştır. ISO P20 karbür tabakasının üstüne ince bir TiC, TiN ve  $Al_2O_3$  tabakasıyla kaplanmış takımlar kullanılmıştır. Elde edilen çeşitli termal simülasyonları ölçülen kesme sıcaklıklarıyla karşılaştırılmış ve literatürdeki verilere göre tartışılmıştır (Grzesik, et al.2005).

Grzesik aynı yılda yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise çok katmanlı kesici takımlarla çeliklerin işlenmesinde takım-talaş ara yüzey sıcaklığının hesaplanmasında kompozit katmanına bağlı olarak analitik bir model geliştirmiştir. Çalışmasında kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlardaki sıcaklık alanlarının tespitinde temel dengeler metodunu (MBE) uygulamıştır. Nümerik sonuçlar, temas uzunluğu, toplam ısı yayılımı ve takım üzerindeki ısının dağılımı değerlerinin, deneysel ve analitik olarak elde edilmesiyle desteklenmiştir. (Grzesik 2005).

Kusiak ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, bir kesici takımın termal davranışları üzerinde kaplamanın etkisini incelemiştir. Ana yapı üzerindeki kaplama sisteminde ısı transferini basit bir örnek geometri ve gerçek kesme koşulları altında tornalama deneylerine bağlı olarak analizi yapılmıştır. Takımda meydana gelen sıcaklık için termal bölgeye yakın bir mesafeye yerleştirilmiş sensör vasıtasıyla ölçmüş ve bunun için özel

bir deneysel düzenek geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda  $Al_2O_3$  kaplaması, takımda zayıf bir ısı yayınımına yol açmıştır (Kusiak, et al.2005).

Rech ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada, iş parçası malzemesi kaplamalı karbür takım ile talaş arasında tribolojik olguları incelemişlerdir. Takım ana yapısında tormalama prosesi boyunca ısı akışının daha iyi anlaşılması amaçlamışlardır. Ters ısı iletim metoduyla ortaklaşa yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, takım talaş ara yüzeyindeki etkileşimler üzerinde kaplama malzemelerin faydalı bir etkisi olduğu belirtmektedir (Recha, et al. 2004).

Rech yapmış olduğu çalışmada, farklı kaplama malzemeleriyle kaplanmış kesici takımlar kullanılarak talaş oluşum mekanizması, kesme kuvvetleri ve ara yüzey sıcaklığındaki değişim ortaya konulmuştur. Deneylerde WC-Co karbürü takımın üzerine, TiN ve TiAlN, TiAlN+MoS<sub>2</sub> gibi kaplamaların yapıldığı takımlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, TiN ve TiAlN+MoS<sub>2</sub> kaplamaları, kaplamasız takımlarla karşılaştırıldığında daha iyi bir performans göstermişlerdir. Takım-talaş temas alanı, deformasyon bölgesinin kalınlığı ve kesici takım ana yapısına ısı yayınım geçişlerinin azalmasına yol açan ara yüzey sıcaklığı önemli derecede azalmıştır. TiAlN kaplaması ise orta seviyede bir performans göstermiştir (Rech 2005).

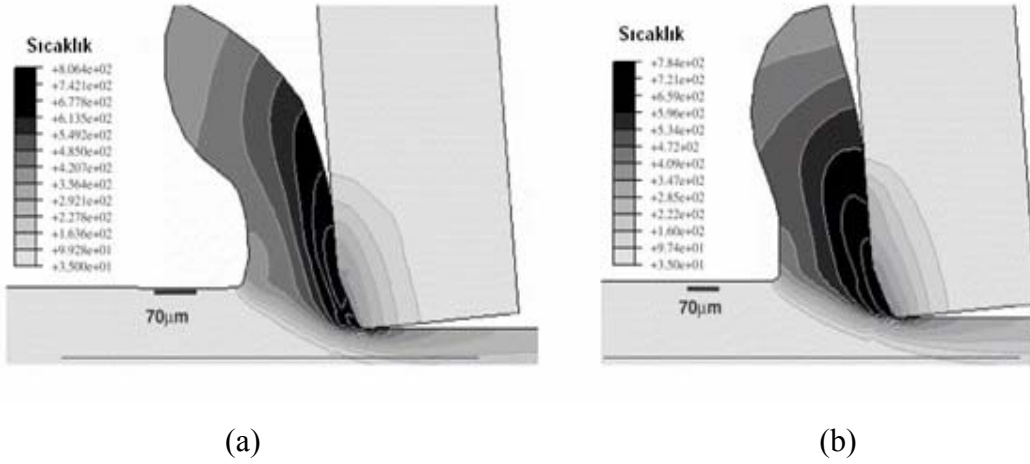
Nalbant ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirlik özelliklerini kesme hızı, kesici takım geometrisi kaplama malzemesine göre incelemişlerdir. Deneylerde kesici takım kaplamasına bağlı olarak, minimum kesme kuvveti değer, üst tabakası  $Al_2O_3$  le kaplanmış kesici takımda elde edilmiştir. Minimum yüzey pürüzlülük değer, Ra, ise 15 m/dak kesme hızında TiN tek katmanlı sinterlenmiş karbür kesici takımla yapılan kesme işleminde görülmüştür (Nalbant vd. 2006).

Yiğit ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak küresel grafitli dökme demirin işlenmesinde kesme hızının etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kesici takım olarak, 7,5 ve 10,5  $\mu m$  kalınlıklarda çok katmanlı olarak kaplanmış kesici takımlar ve kaplamasız WC- Co olmak üzere üç farklı



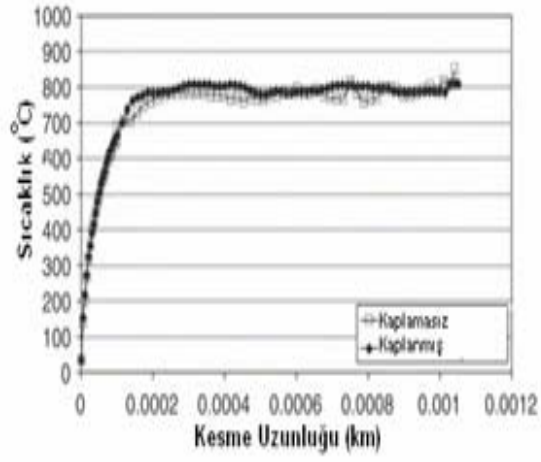
kesici takım kullanmışlardır. Takım performansını takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda WC-Co kesici takım, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından en kötü performansı göstermiştir. Takım aşınması yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri birlikte değerlendirildiğinde dış katmanında TiN kaplanmış 10,5 µm kalınlığında çok katmanlı TiCN+TiC+TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kesici takım küresel grafitli dökme demirin özellikle yüksek hızlarda işlenmesinde en uygun takım olduğu görülmüştür (Yigit et al. 2007).

Kaplama işleminin sert tornalama prosesindeki performansını araştırmak üzere yapılan bir çalışmada da, sert parçaların işlenmesinde kullanılan PCBN kesici takım TiAlN ile kaplanmıştır. Çalışma hem deneysel hem de nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tek kaplı PCBN kesici takım için sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve malzeme modeli olarak Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmıştır (Reginaldo et al. 2007). Elde edilen nümerik sonuçlara göre; maksimum kesme sıcaklığı kaplanmış ve kaplanmamış takıma göre değişmemektedir (Şekil 1.12-c). Buna karşın, kesici takıma etkiyen kesme sıcaklığı ise kaplamanın etkisiyle azalmaktadır (Şekil 1.12-d).

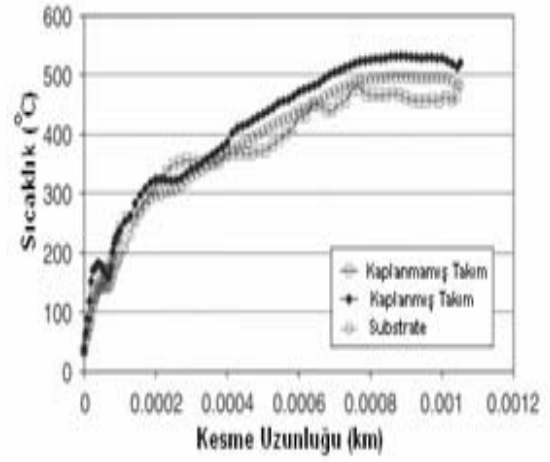


Şekil 1.12 TiAlN kaplanmış PCBN kesici takım için sonlu eleman çözümleri

a) Kaplanmamış PCBN b) TiAlN kaplanmış



(c)



(d)

Şekil 1.12 (Devamı) TiAlN kaplanmış PCBN kesici takım için sonlu eleman çözümleri  
c) İş parçasındaki en sıcak nokta d) Takımdaki en sıcak nokta (Reginaldo et al. 2007).

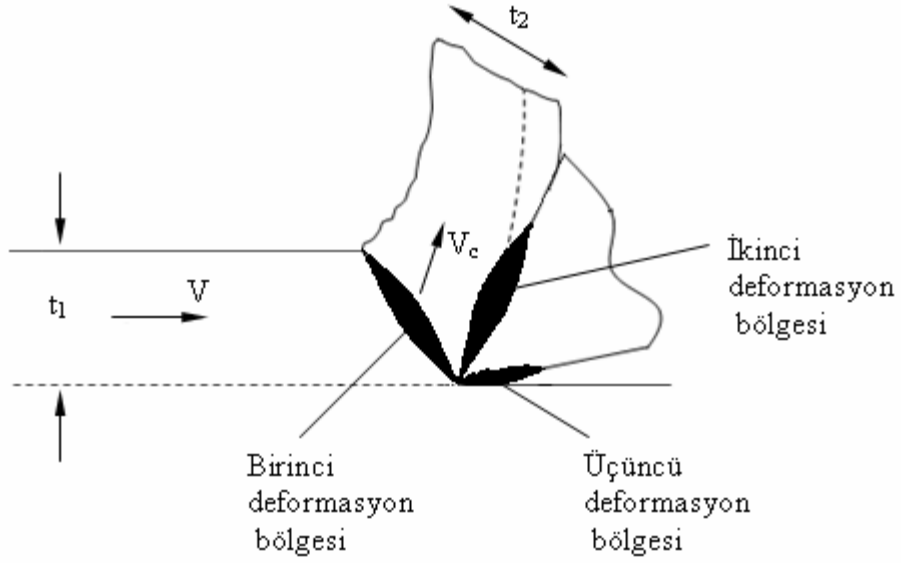
## 2. TALAŞ OLUŞUM MEKANİĞİ

### 2.1 Giriş

Talaş oluşum mekaniğinde malzeme üzerinden talaş kaldırma sırasında, iş parçası takım ve tezgâh arasındaki ilişkinin iyi kurulması önemli yer tutmaktadır. Talaş kaldırma; iş parçaları üzerinden istenilen boyut ve biçimdeki parçaları üretmek için küçük parçaların koparılması olarak tanımlanabilir. Talaş oluşumunun meydana gelebilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç vardır. Bunları şu şekilde özetlenebilir.

- Seçilen kesici takımın talaş kaldırabilmesi için belirli bir uç geometrisine sahip olması gerekir.
- Kullanılan kesici takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı dirençli olması gerekir
- Kesici takım malzemesinin, kesmeye karşı göstermiş olduğu direnci yenebilmesi için takım ile iş parçası arasında belirli bir kesme hızı olması gerekir.

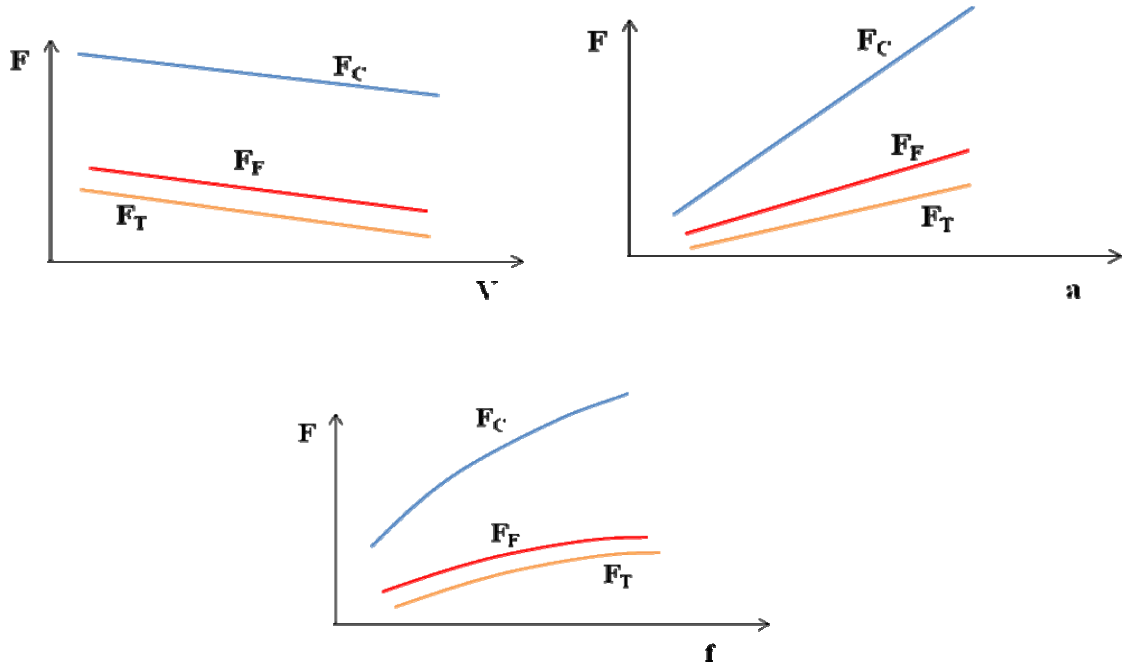
Yukarıdaki verilen talaş oluşumu şartlarının bir anlamda Şekil 2.1 de geometrik ifadesi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere deforme olmamış talaş derinliği ( $t_1$ ) kesici geometrisinin iş parçasına dalması ile  $t_2$  şeklini almaktadır. Talaş kaldırma işleminde kesiciye ait kesme kenarı iş parçasının belirli bölümünü deforme ederek parça üzerinden talaşı ayırır. Talaş kaldırılacak malzeme üzerindeki gerilmeler kesici kenara yaklaştıkça artış gösterir. Gerilmelerin artması ve malzemenin akma sınırını geçmesi ile plastik deformasyon meydana gelir. Bu esnada talaş birinci deformasyon bölgesinden geçerken kesme için harcanan enerjinin büyük çoğunluğu ısı enerjisine dönüşür. Talaş kaldırma işleminde talaşın deformasyonu birinci kayma bölgesinde başlar. Kesme işleminde kayma düzlemi (shear plane) elde edilene kadar metal deforme olmaz. Talaş yüzeyinde var olan ikinci deformasyon bölgesi genellikle ihmal edilir. Şekil 2.1 de verilen  $V$  kesme hızını  $V_c$  ise talaş hızını ifade etmektedir. Genellikle  $V$  ve  $V_c$  birbirine eşit değildir. Bunun nedeni; Takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı ve takım-talaş temas boyu  $V_c$  nin  $V$  den daha küçük olmasına sebep olur.



Şekil 2.1 Kesici takım ile malzeme üzerinden talaş oluşumu.

## 2.2 Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Malzemelerden talaş kaldırmak için kesici takımın iş parçası malzemesinden daha sert olması gerekmektedir. Kesicinin belirli bir kesme geometrisine sahip olması uygun kesme parametreleri ile iş parçasına belirli bir yük uygulaması gerekir. İş parçası üzerine uygulanan yük, ilerleme yönünde malzemeyi deforme etmeye çalışır. İş parçası belirli bir bölgeye kadar deforme olduktan sonra bünyesinden malzeme ayrılacaktır. Ayrılan bu malzemeye talaş adı verilir. Talaş kaldırma esnasında kullanılan kesme parametreleri talaş oluşumuna doğrudan etki etmektedir. Talaş kaldırma işleminde en etkin olan üç kesme parametresinin (Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi aşağıdaki ölçeksiz grafiklerde ifade edilmiştir (Şekil 2.2). Grafiklerden görüldüğü üzere kesme esnasında meydana gelen her üç kuvvetten en büyük olan asıl kesme kuvvetidir. Artan kesme hızına bağlı olarak iş malzemesi birinci deformasyon bölgesinde daha hızlı bir deformasyona maruz kalacaktır. Bir anlamda şekil değiştirme hızı artacaktır. Bu da kesme sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Artan kesme sıcaklığı ise malzemenin daha kolay kesilmesine katkıda bulunacağından, kesme kuvvetleri nispeten düşmektedir.



Şekil 2.2. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi

Artan ilerleme değeri ise birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artmasına neden olacağı için her üç kuvvetin de artmasına neden olacaktır. Benzer şekilde artan talaş derinliği de kaldırılan talaş kesitinin artmasına neden olacaktır. Bu da yine kesme kuvvetlerinin artmasına neden olacaktır.

### 2.3. Talaş Kaldırmada Meydana Gelen Kesme Kuvvetleri

Kesici takım talaş kaldırma sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri kesici takımın ideal şartlarda kesmesine etki ettiği gibi, malzeme maliyetine doğrudan yansıdığı bilinmektedir. Üretim esnasında daha sert malzemelerin işlenebilme zorunluluğundan kesici takım malzemelerindeki iyileştirmeler zorunlu hale gelmiş ve üretimde karbür ve kaplamalı karbürler kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte kesme hızlarında önemli artışlar ve üretimde malzeme yüzey kalitesi bakımından önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Kesme kuvvetleri, talaş kaldırma sırasında meydana gelen ve herhangi bir değişken tarafından doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerindedir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan değişkenler; ilerleme hızı, talaş derinliği kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgâh çiftinin dinamik karakteristiği,





## 2.4. Takım-Talaş Ara Yüzeyindeki Sürtünme

Takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısını deneysel olarak tespit etmek bir hayli zordur. Bu nedenle, takıma etkiyen kuvvet bileşenleri takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının elde edilmesi açısından önemlidir. Yapılan bazı çalışmalarda takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmeyi modellemek için Coulomb modeli dikkate alınmıştır. Buna karşın bazı çalışmalarda Coulomb modelinin takım-talaş ara yüzeyindeki yüksek sıcaklık ve difüzyon nedeniyle geçerliliğini yitirdiğini savunmuşlardır. Coulomb modeline göre takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısı aşağıda tanımlanmıştır.

$$\mu = \tan \beta \quad (5)$$

$$\beta = \tan^{-1}(\mu) = \tan^{-1}\left(\frac{F_p}{N_c}\right) \quad (6)$$

$$\mu = \frac{F_p}{N_c} = \frac{F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha}{F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha} \quad (7)$$

## 2.5. Kayma Düzlemi ve Kayma Açısı

Kayma düzlemine paralel olan kuvvet  $F_s$  ve düzleme dik etkiyen kuvvet ise  $F_{ns}$  dir. Dolayısıyla bu kuvvetler birinci defomasyon bölgesinde meydana gelen kayma açısı ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla x eksenini ile  $\phi$  açısı yapan kayma düzleminde meydana gelen kayma gerilmesi;

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (8)$$

şeklinde analitik olarak hesaplanmaktadır. Burada  $A_s$  kayma bölgesindeki talaş kesiti olup,

$$A_s = \frac{bt}{\sin \phi} \quad (9)$$

olarak hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla kayma düzleminde meydana gelen gerilmenin daha açık ifadesi



$$\tau = \frac{(F_c \cos \phi - F_t \sin \phi) \sin \phi}{bt} \quad (10)$$

dir. Kayma düzleminde meydana gelen normal gerilme ise;

$$\sigma = \frac{N_s}{A_s} = \frac{(F_c \sin \phi + F_t \cos \phi) \sin \phi}{bt} \quad (11)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Yukarıda denklemde verilen “ $b$ ” kesme genişliği ve “ $t$ ” ise talaş kalınlığıdır. Kayma düzlemi açısı ( $\phi$ ) çeşitli fotomikrografi teknikleri kullanılarak ta elde edilebilir. Fakat çokt sağlıklı sonuçlar elde edilememektedir. Diğer bir yöntem ise; talaş oranını (cutting ratio) kullanmaktır. Bu metoda göre; talaş oranı ( $r$ ) talaş derinliğinin ( $t$ ) talaş kalınlığına ( $t_c$ ) oranıdır. Talaş kaldırıldığı zaman malzemenin yoğunluğunda herhangi bir değişiklik meydana gelmez.

$$t_1 \cdot b \cdot l = t_2 \cdot b_c \cdot l_c \quad (12)$$

Burada  $t$  talaş kalınlığı,  $b$  kesme genişliği,  $l$  ise kesme uzunluğudur.  $c$  ise kesilen talaşa ait değerleri ifade etmektedir. Kayma düzlemi açısının tespitine yönelik iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar maksimum kayma gerilmesi teorisi ve minimum enerji teorisi dir. Minimum Enerji teorisi Ernst ve Merchant tarafından ortaya konulmuştur. Buna göre kayma düzlemi; malzemenin kayması için gerekli olan enerjinin minimum olduğu düzlem boyunca gerçekleşir. Kayma düzleminde meydana gelen  $F_s$  kuvvetinin  $R$ 'ye bağlı ifadesi;

$$F_s = R \cos(\phi + \beta - \alpha) \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir.  $F_s$  aynı zamanda,

$$F_s = \tau \cdot A_s = \frac{\tau \cdot b \cdot t_1}{\sin \phi} \quad (14)$$

dir. Buradan bileşke kuvvet olan  $R$  ifadesi çekildiğinde;

$$R = \frac{\tau \cdot b \cdot t_1}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (15)$$

olur.  $F_c$  kuvvetinin de  $R$  ye bağılı ifadesi ise;

$$F_c = R \cos(\beta - \alpha) \quad (16)$$

Buna göre  $F_c$  ifadesi, kayma düzleminde meydana gelen kayma gerilmesine bağılı olarak

$$F_c = \frac{\tau \cdot b \cdot t_1 \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (17)$$

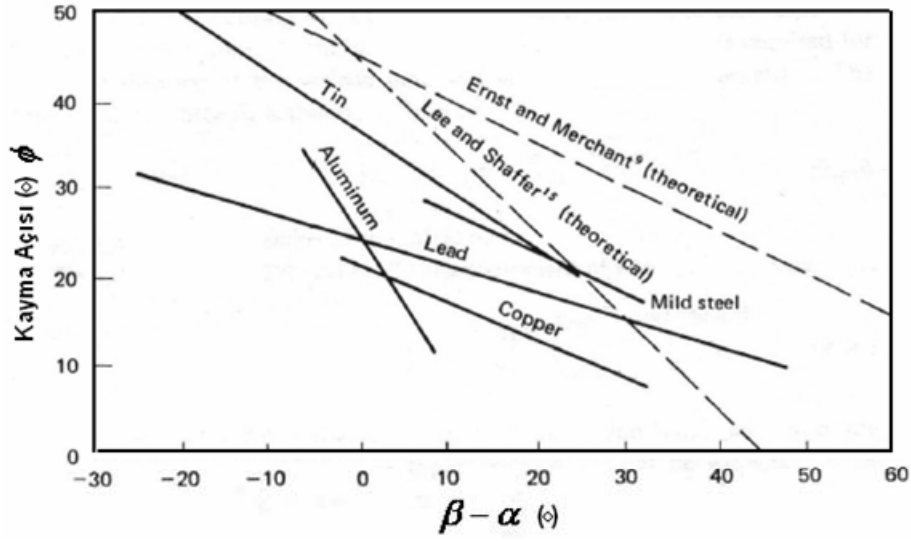
olarak elde edilir. Buradan da  $F_c$  ifadesinin  $\phi$  ye göre türevi alınıp sifıra eşitlenirse  $F_c$ 'nin minimum olduğu durumdaki kayma açısı ( $\phi$ ) elde edilmiş olur. Böylece minimum enerji teorisine göre kayma açısı;

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta + \alpha}{2} \quad (18)$$

olarak elde edilmiş olur. Maksimum kayma gerilmesi teorisine göre kayma açısı;

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \beta + \alpha \quad (19)$$

şeklindedir. Şekil 2.5 te farklı iş parçası malzemelerine ait kayma açısının değişimi farklı teoriler için verilmiştir.



Şekil 2.5 Farklı iş parçası malzemelerine ait kayma açısının farklı teoriler için değişimi

Kayma açısı dolaylı olarak deneysel yolla da elde edilmektedir. Bunun için talaş oranı kullanılmaktadır. Talaş oranını elde etmenin en sağlıklı yolu deforme olmamış talaş kalınlığının deforme olmuş talaş kalınlığına oranını ( $t_1/t_2$ ) bulmaktır. Ortogonal kesme şartlarında  $t$  değeri takımın ilerleme değerine ( $f$ ) eşittir. Bu nedenle talaş kaldırma işlemi sonrasında elde edilen talaş kalınlığı ( $t_2$ ) ölçülerek talaş oranı elde edilebilir. Talaş oranına bağlı olarak birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen kayma açısının değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$r = \frac{t_1}{t_2} = \frac{AB \sin \phi}{AB \cos(\phi - \alpha)} \quad (20)$$

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (21)$$

Talaş oranı, deforme olmuş talaş kalınlığının ölçülmesiyle bulunabilmesine karşın, bu yöntem çokta hassas değildir. Bunun da nedeni, deformasyonun etkisiyle talaşa ait  $t_2$  değerinin çok doğru olarak ölçmenin mümkün olmadığıdır. Çünkü deformasyonun etkisiyle talaşın ön yüzeyi aşırı pürüzlüdür ve doğru bir ölçüm almak zordur. Bunun yerine talaş uzunluğunun ölçülmesi daha doğru sonuçlar vermektedir.

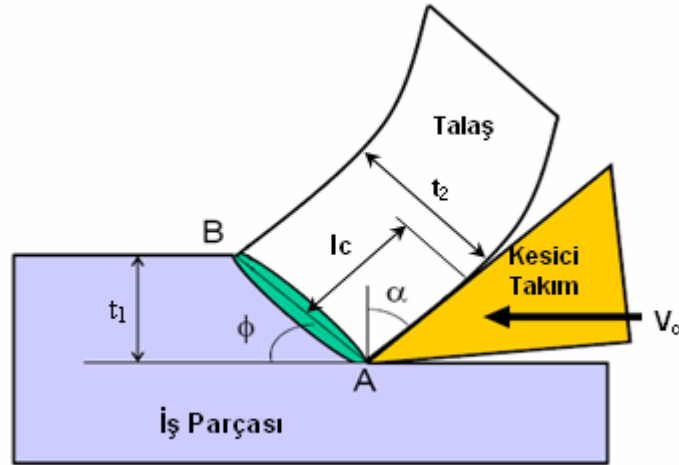


daha az temas uzunluğundan dolayı çok düşük kuvvetler meydana gelir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve temas uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlarla takım-talaş arasındaki temas uzunluğu azaltılmak suretiyle kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir (Şahin 2003).

Takım-talaş ara yüzeyindeki temas koşulları, takımın ömrünün belirlenmesi noktasında büyük bir önem arz etmektedir. Bu konuda en önemli verilerden birisi de takım-talaş temas uzunluğudur. Artan takım-talaş temas uzunluğu takım yüzeyindeki sıcaklık dağılımını etkilemekte ve dolayısıyla aşınma sürecini hızlandırmaktadır (Abukhshim et al. 2004).

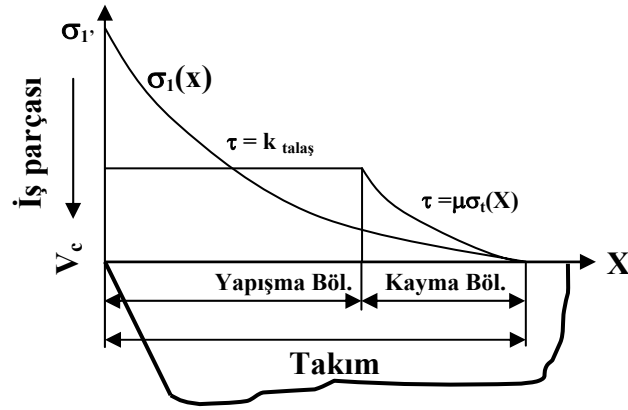
Talaş kalınlığı, kayma ve talaş açısının bir fonksiyonu olduğu genel görüştür. Pozitif talaş açısının azalması ve talaş kalınlığının artmasıyla birlikte, temas uzunluğu da artmaktadır (Mativenga et al. 2006). Temas boyunu etkileyen diğer faktörler ise, işleme parametreleri, takım ve iş parçası malzemesi ile kesme sıvısı olarak gösterilebilir (Sadik 1993).

Talaş kaldırma işleminde kullanılan tüm analitik yaklaşımlar genellikle ortogonal kesme şartları baz alınarak elde edilmiştir. Şekil 2.7 de Ortogonal kesme işleminde meydana gelen takım-talaş boyunun şematik gösterimi verilmiştir. Ortogonal kesme işlemi talaş kaldırma işlemini iki boyuta indirgemekte ve deforme olmamış talaş kalınlığı ( $t_1$ ) ilerleme değeri olarak baz alınmaktadır. Talaş birinci deformasyon bölgesini geçtikten sonra plastik deformasyona uğrar ve deforme olmamış talaş kalınlığı ( $t_2$ ) elde edilir. Kesme koşulları ve takım-iş malzemesi çiftine bağlı olarak talaş ile takımın temas ettiği uzunluk ( $l_c$ ) takım-talaş temas boyudur.



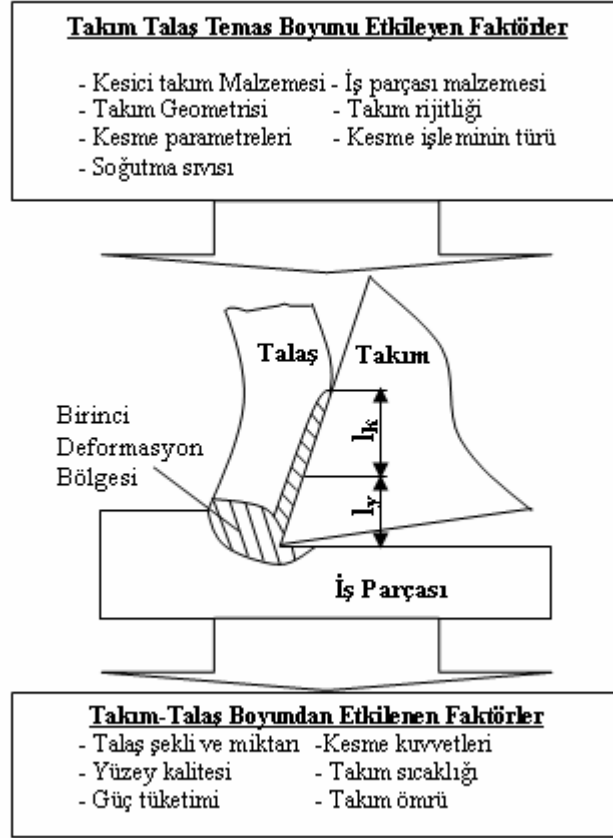
Şekil 2.7 Ortogonal kesme işleminde meydana gelen takım-talaş boyunun ( $l_c$ ) şematik gösterimi.

Zorev, modelinde talaş ile takım arasındaki bölgeyi iki parça halinde tanımlamıştır. Bu bölgelerden birisi olan yapışma bölgesi, plastik deformasyona neden olan normal gerilmelerin meydana geldiği, kesici kenara yakın olan bölgedir (Şekil 2.8). Sürtünmeyle oluşan gerilmeler genellikle malzemenin kayma mukavemetinden daha küçüktür. Bundan dolayı bu alanda sürtünme ile oluşan gerilmeler, normal gerilmelerden bağımsız ve iş parçasının kayma mukavemeti ile tanımlanabilir. Diğer bir bölge ise, yapışma bölgesinden sonra başlayan ve talaşın takımdan uzaklaştığı noktaya kadar olan kayma bölgesidir (Şekil 2.8). Bu bölgede sürtünme ile oluşan gerilmeler normal gerilmelerle bağlantılıdır. Kayma gerilmeleri yapışma bölgesinde sabit bir noktadan başlar ve kayma bölgesinin sonuna doğru azalmaktadır. Bu bölgedeki sürtünme, Coulomb sürtünme kanunuyla tanımlanmaktadır. Bazı çalışmalarda ise, takım-talaş yüzeyinde bulunan kayma gerilme dağılımının iş parçası malzemesi ve kesme koşullarından bağımsız olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca kesici takımın kenarında kayma gerilmelerinin daima sıfır olduğu görüşü savunulmuştur (Bagchi and Wright 1987).



Şekil 2.8 Ortogonal kesme şartlarında takım talaş yüzeyinde oluşan normal ve teğetsel gerilmelerin değişimi (Sartkulvanich and Altan 2005).

Takım-talaş uzunluğunun ölçülmesinde farklı metotlar kullanılmaktadır (Grzesik 2006). Bunlar, oluşan talaşın fiziksel muayenesi yapılarak talaş alt kenarını incelemek sureti ile veya kesme esnasında yüksek hızlarda görüntü elde eden kameralar vasıtasıyla temas uzunluğu ölçülebilmektedir (Mativenga et al. 2006). Sonlu elemanlar modellemelerinde ise takım-talaş temas uzunluğu iki parça olarak tanımlanmakta ve her iki bölge için farklı sürtünme modelleri dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte tüm temas boyu için aynı sürtünme modeli kullanan çalışmalar da yapılmıştır. Bunların dışında takım-talaş temas uzunluğunun tespiti için araştırmacılar tarafından pek çok matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirilen bu modeller arasında genel bir uyumdan söz etmek mümkün değildir. Bunun da nedeni; geliştirilen analitik modellerin belirli bir iş parçası ve kesme şartları için elde edilmiş olmasıdır. Dolayısıyla belirli bir iş parçası ve kesici takım için geliştirilen model farklı kesici takımda geçerliliğini yitirebilmektedir. Şekil 2.9 da ortogonal kesme işleminde takım-talaş temas boyunun etkisi, takım-talaş temas boyunun hesaplanmasına iş parçası malzemesi ve kesici takım malzemesinin mekanik özellikleri, tezgâhtaki rijitlik, kesme parametreleri ve kesici takım geometrik özellikleri, işleme koşulları v.s. gibi unsurlar birlikte değerlendirildikten sonra en sağlıklı sonuçlar elde edilebilir (Abukhshim et al. 2004).



Şekil 2.9 Ortogonal kesme işleminde takım-talaş temas boyunun etkisi (Abukhshim et al. 2004)

Yapılan deneysel bir çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada %0,18 C ihtiva eden iş malzemesi ve P25 karbür kesici takım kullanılarak, ortogonal kesme şartları altında kesme yapılmıştır (Marinov 1999). Elde edilen deneysel veriler doğrultusunda oluşturulan model ise;

$$\frac{l_c}{t_1} = 1,61 \cdot \frac{t_2}{t_1} - 0,28 \quad (22)$$

şeklindedir. Yapılan deneysel bir çalışmada ise; alüminyum alaşımı, bakır, karbon çeliği ve paslanmaz çelikten oluşan dört farklı iş malzemesi için farklı talaş açısına sahip kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, takım-talaş temas boyunu her kesme işlemi sonrasında mikroskop yardımıyla tespit etmişler ve talaş kalınlığını



mikrometre vasıtasıyla ölçmüşlerdir (Toropov and Ko 2003). Bu sonuçlar neticesinde oluşturdukları matematiksel model;

$$\frac{l_c}{t_1} = 2\xi \quad (23)$$

şeklindedir. Bu model, Poletika tarafından elde edilen modelle mükemmel bir uyum içinde olduğu, yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur.

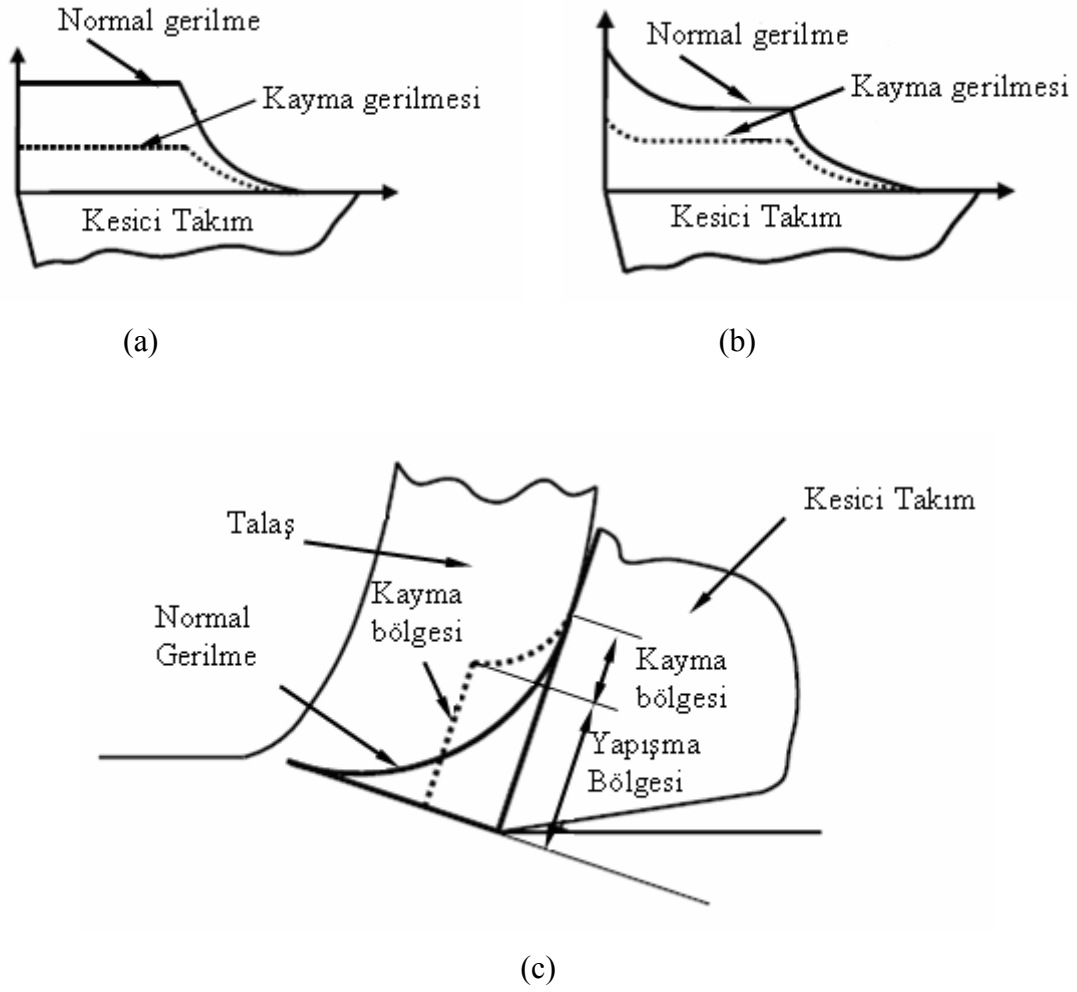
Yapılan deneysel bir çalışmada ise, düşük karbonlu çeliklerin farklı talaş açıları, kesme derinlikleri ve kesme hızları kullanılarak yapılan çalışmada oluşan takım- talaş boyunu yüksek hızda görüntü elde edebilen kamera yardımıyla tespit edilmiştir (Sutter 2005). Deneysel sonuçlarda elde edilen matematiksel model ise; özellikle Toropov'un modeliyle uyum içinde olduğu görülmüştür. Sutter tarafından ortaya konulan modelin ampirik ifadesi ise;

$$\frac{l_c}{t_1} = 1,92 \frac{t_2}{t_1} - 0,09 \quad (24)$$

şeklindedir. Bütün bu modeller sonunda takım-talaş temas boyunu bütün koşullar için tespit edebilen ortak bir modelin olmadığı görülmektedir. Bunun da en önemli nedeni, kullanılan kesici takım ve iş malzemesi çeşidinin fazla olmasıdır.

## 2.8 Takım Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler

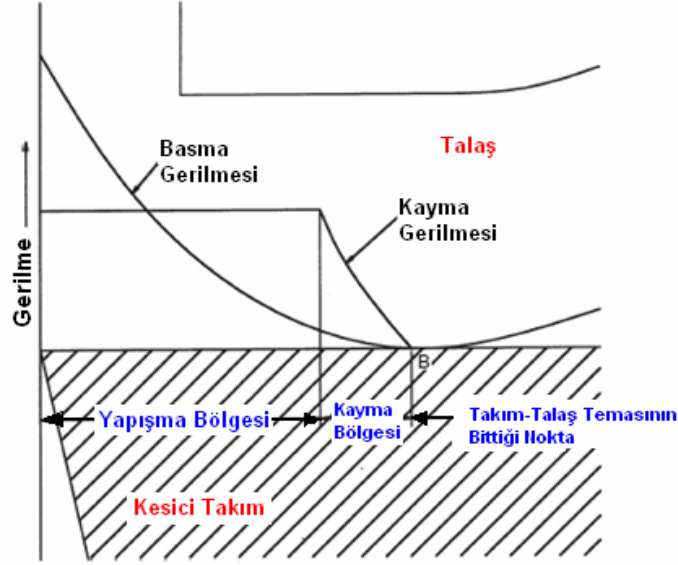
Literatürde yapılan çalışmalarda ayırma tekniği, saydam safir takım tekniği veya foto-elastik teknik kullanılarak talaş yüzeyi üzerindeki gerilme dağılımların düzgün olmayan bir biçimde değişim gösterdiği ifade edilmiştir (Barrov 1982). Şekil 2.10'da talaş yüzeyi üzerindeki gerilmeler gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Talaş yüzeyi üzerindeki gerilme dağılımı modelleri (Barrov 1982).

Zorev, modelinde talaş ile takım arasındaki bölgeyi iki parça halinde tanımlamıştır. Şekil 2.11 de Ortogonal kesme şartlarında takım talaş yüzeyinde oluşan normal ve teğetsel gerilmelerin değişimi görülmektedir (Zorev 1963). Plastik deformasyona neden olan normal gerilmelerin meydana geldiği bölüm kesici kenara yakın olan bölgedir. Sürtünmeyle oluşan gerilmeler genellikle malzemenin kayma mukavemetinden daha küçüktür. Bundan dolayı bu alanda sürtünme ile oluşan gerilmeler, normal gerilmelerden bağımsız ve iş parçasının kayma mukavemeti ile tanımlanabilir. Yapışma bölgesinden sonra başlayan ve talaşın takımdan uzaklaştığı noktaya kadar olan bölge ise kayma bölgesidir. Bu bölgede sürtünme ile oluşan gerilmeler normal gerilmelerle bağlantılıdır. Kayma gerilmeleri yapışma bölgesinde sabit bir noktadan başlar ve kayma

bölgesinin sonuna doğru azalmaktadır. Bu bölgedeki sürtünme, Coulomb sürtünme kanunuyla tanımlanmaktadır.

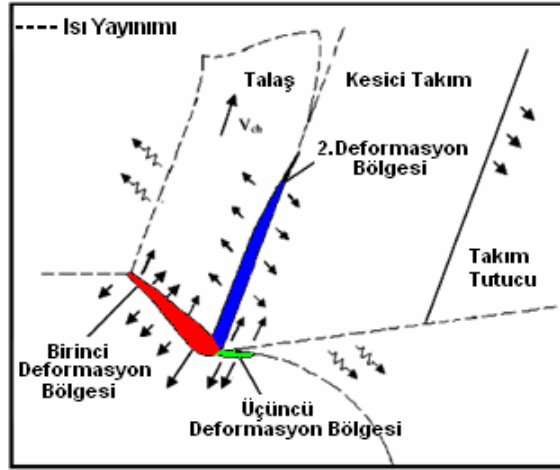


Şekil 2.11 Ortogonal kesme şartlarında takım talaş yüzeyinde oluşan normal ve teğetsel gerilmelerin dağılımı (Zorev 1963).

Bazı çalışmalarda ise, takım-talaş yüzeyinde bulunan kayma gerilme dağılımının iş parçası malzemesi ve kesme koşullarından bağımsız olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca kesici takımın kenarında kayma gerilmelerinin daima sıfır olduğu görüşü savunulmuştur (Bagchi 1987).

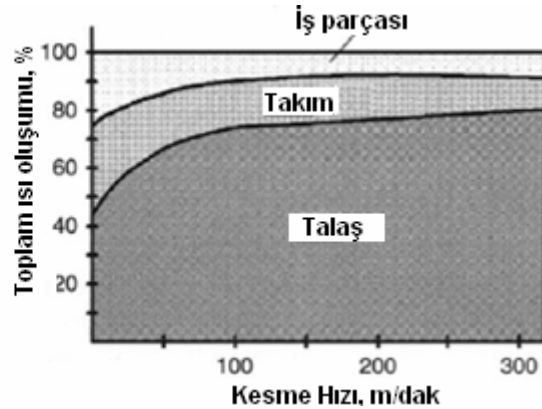
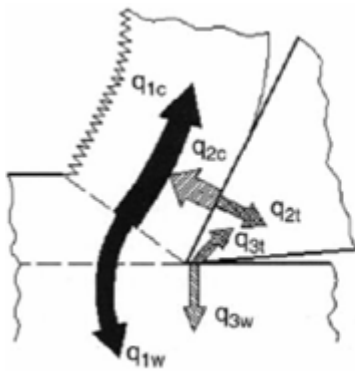
## 2.9 Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu

Ortogonal kesme işleminde meydana gelen sıcaklık Şekil 2.12 de görüldüğü gibi üç bölgede oluşan ısı enerjisiyle meydana gelmektedir. Bu kaynaklar; öncelikli olarak birinci deformasyon bölgesinin plastik deformasyonundan kaynaklanan ısı enerjisidir. İkinci olarak, ikinci deformasyon bölgesinde meydana gelen sürtünme ve plastik deformasyonla oluşan ısı enerjisi ve son olarak ise, kesici takımın yan yüzeyinin iş parçasıyla temas ettiği üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılan bölgede oluşan ısı enerjisidir.



Şekil 2.12 Ortogonal kesme işleminde kesme sıcaklığını tayin eden ısı kaynakları (Abukhshim et al 2006).

Talaş kaldırma esnasında harcanan mekanik enerjinin %90-95'i ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısının en önemli kaynağı ise önemli oranda plastik şekil değişiminin meydana geldiği birinci deformasyon bölgesidir. Meydana gelen bu ısının büyük bir kısmı ( $\approx$ %80) talaşa iletilir (Şekil 2.13). Geri kalan %20 lik dilim ise takım ile iş parçasına iletilmektedir. Dolayısıyla kesici takımda meydana gelen termal nedenli hasar tiplerini en aza indirmek için maksimum ısının iletildiği talaş ile takım temasını en aza indirmek gerekir. Bunun yanı sıra ısı iletim katsayısı düşük kaplama türleri ile kaplanmış takımlar kullanıldığında, takıma geçen ısının azaltılmasına katkıda bulunacaktır.



Şekil 2.13 Kesme esnasında meydana gelen ısının yayılımının takım, talaş ve iş parçasına göre dağılımı (Grzesik 2008).

Nathan Cook tarafından geliştirilen analitik yaklaşımda takım-talaş ara yüzeyindeki kesme sıcaklığı

$$T = \frac{0.4U}{\rho C} \left( \frac{Vt}{K} \right)^{0.333} \quad (25)$$

şeklindeki ampirik ifade ile hesaplanabilmektedir. Burada verilen V: kesme hızı, t: deforme olmamış talaş kalınlığı, K: iş malzemesinin ısı yayılım katsayısı,  $\rho$ : iş malzemesinin yoğunluğu, C: özgül ısı kapasitesi ve U ise spesifik enerjiyi ifade etmektedir. Ortogonal kesme işleminde spesifik enerji ise

$$U = \frac{F_c V}{V_{tw}} \quad (26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemde ise  $F_c$ : asıl kesme kuvvetini, V: kesme hızını, w ise kesme genişliğini ifade etmektedir.

## 2.10 Kesici Takımların Kaplanması

WC kesiciler ilk olarak 1920'li yıllarda Almanya'da elmas kullanımının pahalı olmasından dolayı yeterli kalıp malzemesi üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu kesiciler aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme sınıfından olup, sert karbür parçacıkların yumuşak ve sünek metallerle birleştirilmesiyle üretilmiştir. Önce tungsten karbür ile kobalt bağlayıcı kullanılarak döküm yöntemiyle güçlükle üretilmiştir. Fakat birçok hatalara sahip bir yapı gözlemlendiği için kesici takım ve kalıp malzemesi olarak tatmin edici bulunmamıştır. 1923 yılında Fransa' da toz metalürjisi tekniği ile ince tungsten karbür tozlarla az miktarda demir, nikel veya kobalt tozları karıştırılarak preslenmiştir. Sonra yaklaşık 1300 °C' de sinterlemeye tabi tutulmuş ve kobalt en iyi matris olarak ortaya çıkmıştır. O zamandan itibaren WC-Co esaslı karbürü malzemeler, farklı malzemeler ve kesme operasyonları için değişik tipleri olan karbürler geliştirilmiştir. WC kesicilerin ergime derecesi 2850 °C ve sertliği 2100 HV olarak 40

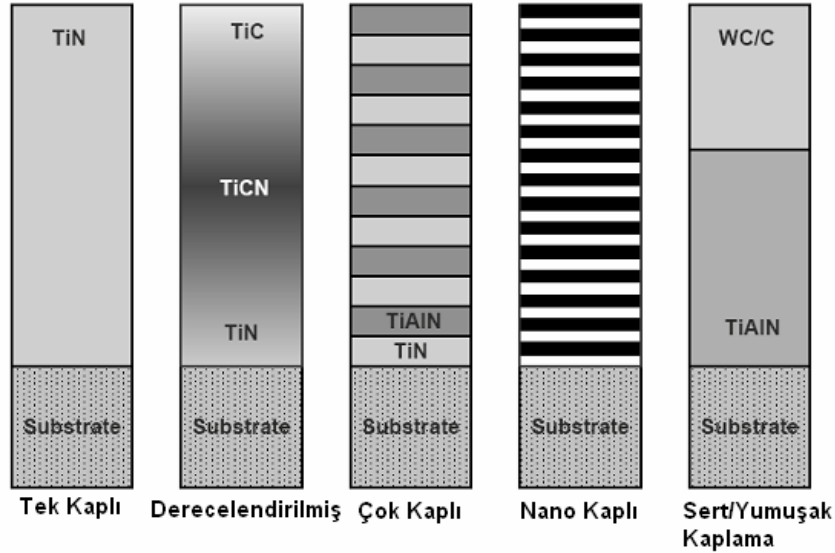
m/dak.'dan 350 m/dak.'lık kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili bir şekilde kullanılabilir (Şahin 2000).

Karbür takımlar üzerine çok ince sert bir tabakanın kimyasal buharlaştırma yoluyla kaplanmasına 1980' li yıllarda başlanmıştır. Bu metot ile kaplamalı takımların üzerine 10 µm' den daha az kalınlıkta ince bir tabaka sıkıca bağlanmakta, kaplama maddesi olarak TiC, TiN, Ti (C, N), Hf N ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmaktadır. Burada TiN, daha düşük sürtünme katsayısı verdiği ve kesici kenarda talaş birikmesini (BUE) azalttığı için daha ince olduğundan dış tabakada, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve abrasiv aşınma direnci sağladığından dolayı ikinci katman olarak kullanılmaktadır. TiC' de ana malzeme üzerinde, dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için, ilk katmanı oluşturmaktadır (Jindal 1999).

TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamaların aşınmaya dirençli olmasının ana sebebi, kesici yüzeyinde yapışmanın olduğu yerde difüzyon aşınmasına karşı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Çok katlı kaplamalar takıma her türlü işte kullanılma şansı vermektedir. Bu tür kaplamalar genellikle fiziksel buharlaştırma yöntemi (PVD) ile yapılmaktadır. Kaplamalarda kullanılacak metal atomları boşluğun içinde buharlaştırılır, iyonlaştırılır ve takım yüzeyine yüksek voltajla yaydırılır. Bu işlemde karbon atomu içeren düşük basınç kullanılır. Kaplamaların takım yüzeyine yapışması yaklaşık 500 °C sıcaklıkta gerçekleşir. Kimyasal buharlaştırma yöntemine (CVD) ye göre daha düşük kaplama sıcaklığı daha düşük kalıcı gerilme oluşturur. Buna ilaveten kaplama tabakasının tane boyutunu incelttiği için PVD işlemi sinterlenmiş karbürler için daha çekicidir (Şahin 2000). Karbürü kesici takımlar üzerine yapılan kaplama malzemelerinin temel fonksiyonları aşağıda verilmektedir. Ayrıca Şekil 2.14'te aşağıda özellikleri verilen kaplama türlerinin uygulama şekillerine bir örnek verilmektedir.

- **TiN:** Takımın abrasyon direncini arttırmak amacıyla kullanılan bir kaplama türüdür ve kaplama rengi altın rengindedir. Sertlik değeri 2300 HV ve sürtünme katsayısı 0,3 tür. Bu kaplama türü 600°C'ye kadar termal kararlılığını muhafaza etmektedir.

- **TiCN:** Çelik malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımlara uygulanan bir kaplama türüdür. TiN den daha iyi bir aşınma direncine sahiptir. Gri bir renge sahip olan bu kaplamanın sertliği 3000 HV ve sürtünme katsayısı 0,4 dür. Bu kaplama türü 750°C ye kadar termal kararlılığını koruyabilmektedir.
- **TiAlN ve TiAlCN:** Kuru kesme şartlarında da kullanılabilen bu kaplama türü yüksek kesme hızlarında yüksek takım ömrü elde etmek amacıyla kullanılan bir kaplama türüdür. Siyah bir kaplama rengine sahiptir. Vickers sertlik değeri 3500 ve sürtünme katsayısı 0.45 dir. Bu kaplama türü 800-900°C sıcaklıklarda termal kararlılığını korur.



Şekil 2.14 Sinterlenmiş karbür kesici takımlarda kullanılan değişik kaplama tabakaları (Davim 2005).

- **WC-C ve MoS<sub>2</sub>:** Takım-talaş ara yüzeyinde katı yağlayıcı özelliği olan bir kaplama türüdür. Bu nedenle sürtünme kaynaklı ısı oluşumunu önemli oranda azaltmaktadır. Sınırlı bir termal dirence (300°C) sahiptir. Bu tür kaplamalar alüminyum, bakır ve demir dışı malzemeler gibi yüksek yapışma eğilimi gösteren malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Sürtünme katsayısı 0,1 civarındadır ve koyu gri renktedir.

Araştırmalar, sinterlenmiş karbür takımların TiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi malzemelerde değişik metotlarla kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür takımlarla daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akışı sağlanmaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcılık görevi yapmaktadır. Her bir kaplama malzemesinin kendine haz avantaj ve dezavantajları vardır (Çizelge 2.1). Bu özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istenildiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkân sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği, talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü de arttırmaktadır. Takımlardan gerekli üstünlüğü sağlamak için takımların talaş yüzeylerine yaklaşık 0,25 mm kalınlığında ince bir tabaka kaplanarak üretilmektedir. Bu tabakanın esas görevi termal iletkenliğe sahip tok WC-Co alaşımlarından oluşmaktadır. Toz metalürji teknikleriyle otomatik pres aracılığıyla bu tip kompozit üretimi mümkündür (Şahin 2000).

Çizelge 2.1 Farklı kaplama maddelerinin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması  
(Pfouts 2001).

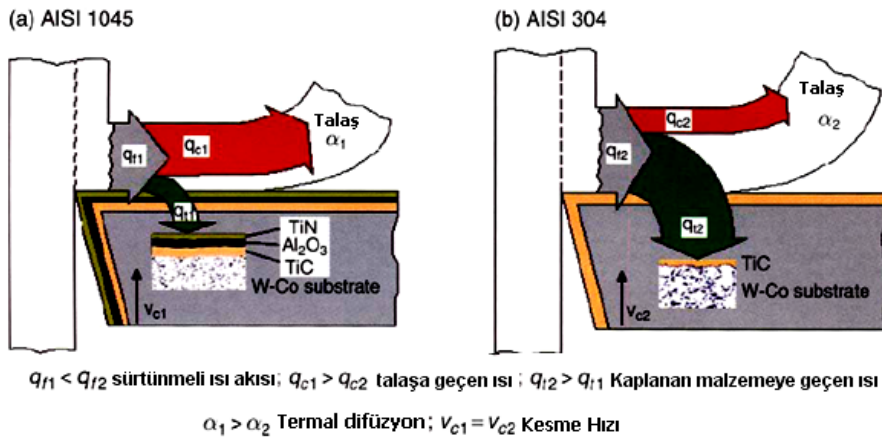
	Kimyasal kararlılık	Oksidasyon Direnci	Sertlik (20 <sup>0</sup> )	Sıcak Sertlik
<p>İyi</p>  <p>Kötü</p>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN
	TiN	TiN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN
	TiC	TiC	TiN	TiC

Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde TiC, TiCN, TiN kaplanmış kesici takım, TiCN, TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetine neden olmuştur. TiC, TiCN, TiN kaplanmış kesici takımın daha düşük kesme kuvvetlerine neden olması kesici takım talaş yüzeyindeki düşük sürtünme katsayısına atfedilebilir. En üstteki TiN kaplama diğer kesici takımın en üst kaplama tabakası Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'den daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bu nedenle TiN ile kaplanmış kesici takımlarda kesici takım talaş yüzeyinde iş parçası malzemesi daha az yapışma eğilimi sergiler. Daha az yapışma



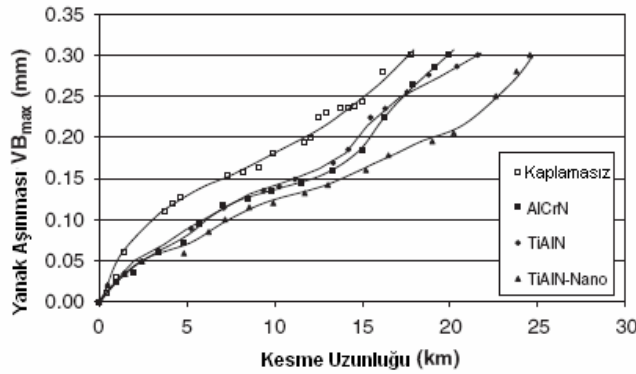
eğilimi nedeni ile kesici takım talaş yüzeyinde takım-talaş temas uzunluğu kısılır ve bu da kesme kuvvetlerini azaltır (De garmo et al 1997).

Kaplama türünün olduğu kadar kaplama sayısının da kesme sıcaklığı ve ısı yayılımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Artan kaplama sayısı ile birlikte kaplama malzemesine iletilen ısı miktarı azaltılabilir (Şekil 2.15). Bu sayede kesme esnasında meydana gelen ısının büyük çoğunluğu talaşa iletiliği için kesici daha az kesme sıcaklığına maruz kalır. Bunun sonucu olarak kesme esnasında meydana gelen termal kaynaklı aşınma en az seviyeye indirgenmiş olur. Şekil 2.15’de görüldüğü üzere tek kaplama malzemesiyle (TiC) kaplanmış takım ile çok kaplı (TiC+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN) kesici takımın talaş kaldırması esnasında meydana gelen ısının yayılımını karşılaştırılmıştır. Çok kalpli kesici takımında meydana gelen toplam ısı miktarının büyük miktarı talaşa iletilmektedir. Bunun da nedeni kullanılan kaplama malzemelerinin düşük ısı iletim katsayısına sahip olmalarıdır. Bununla birlikte Şekil 2.15’de verilen takımın en üst yüzeyinde kullanılan kaplama türünün (TiN) daha düşük sürtünme katsayısına sahip olması nedeniyle çok kaplı kesici takımında sürtünme kaynaklı meydana gelen ısı oluşumu TiC kaplı kesici takıma nazaran daha düşüktür. TiC kaplı kesici takım daha yüksek kesme sıcaklıklarına dayanabilirken, çok kaplı kesici takımın en üst yüzeyinde yer alan TiN daha düşük kesme sıcaklıklarına dayanabilmektedir. Fakat negatif olan bu özellik ikinci kaplama olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama ile telafi edilmeye çalışılmıştır. Çünkü Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen bir kaplama türüdür.

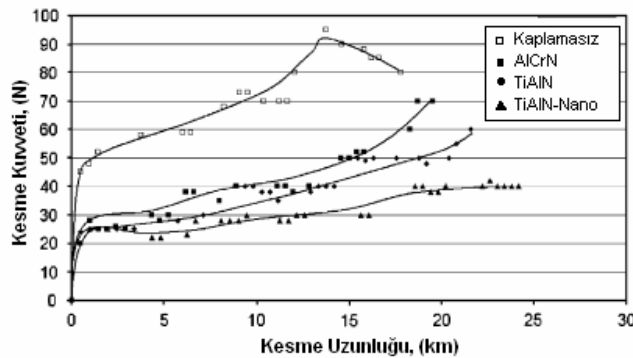


Şekil 2.15 Kaplama türü ve sayısının ısı yayılımı üzerindeki etkisinin şematik ifadesi (Grzesik 2008).

Takım yüzeyine yapılan kaplama işlemi sadece meydana gelen ısının yayılımı açısından değil aynı zamanda takım aşınması yönünden de önemli bir unsurdur. Gerek kaplama malzemesinin sürtünme katsayısı ve gerekse termal direnci takım aşınmasını doğrudan etkileyecektir. Şekil 2.16’da farklı kaplama türlerinde kaplanmış PCBN kesici takımın AISI 4340 malzemesinin tornalanması sırasında gösterdiği aşınma davranışı verilmektedir. Şekil 2.16’da aynı zamanda kaplama türüne bağlı olarak kesme kuvvetinin kesme uzunluğuna bağlı olarak değişimi de verilmiştir. Her iki grafikte de ortak olan nokta, kaplamasız olan kesici takımda meydana gelen hem aşınma hem de kesme kuvvetinin daha büyük olduğudur. Buna karşın TiAlN kaplama türünün iki farklı şekilde uygulanması bile hem takım aşınmasını hem de kesme kuvvetini etkilemektedir. Bir anlamda TiAlN’nin nano boyutta kaplama şeklinde uygulanmasıyla kesici takımın takım ömrü artarken, kesme kuvveti de azalmaktadır.



Şekil 2.16 Kaplama türünün yanak aşınması ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi (Coelho 2007).



Şekil 2.16 (Devamı) Kaplama türünün yanak aşınması ve kesme kuvveti üzerindeki etkisi (Coelho 2007).

### 3. KESME İŞLEMİNİN NÜMERİK MODELLENMESİ

#### 3.1 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu, ilk defa karmaşık olan problemleri basit alt programlara ayırarak bu alt programların kendi içinde çözümlenmesi ile sonucunun bulunduğu, bilgisayar çözümüne uyarlanarak matris formundaki denklemlerin kullanıldığı sayısal bir yöntemdir. Temelinde 1960 yılında Clough tarafından kullanılmış, uçakların yapısal analizlerin geliştirilmesi temeline dayanmaktadır. bilgisayarın sanayide etkin olarak kullanılması ile birlikte pahalı deneysel yöntemler kullanılarak incelenebilen makine elemanlarının kolayca incelenebilmesi ve mukavemet analizlerinin kısa sürede yapıp optimum tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi sağlanabilmiştir. Günümüzde ise bilgisayarların hızla gelişmesi ve daha kapasiteli bilgisayarların kullanılabilmesi ile işletmeciler ve mühendisler tarafından kullanımı artmıştır.

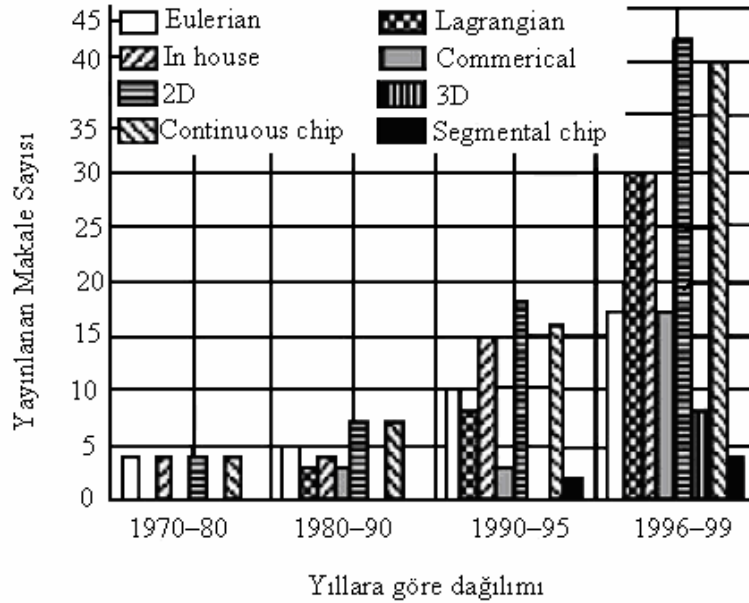
Yaklaşık son 50 yılda yapılan çalışmalarda talaşlı imalat konusundaki problemleri çözmeye yönelik bir takım analitik ve nümerik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Son zamanlarda sonlu elemanlar metodu talaşlı imalata yönelik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Özellikle bu amaç için tasarlanmış ticari yazılımların artması ile birlikte, elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla ciddi oranda örtüşmektedir.

Talaş oluşumu kesme işleminin temelini teşkil etmektedir. Araştırmaların temelinde kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, takım aşınması, takım tutucu, çapak oluşumu, talaş oluşumu ve modellenmesi, talaş kırılması bulunmaktadır. Talaşlı imalat konusunda ciddi araştırmalar yürüten CIRP (uluslararası üretim mühendisliği akademisi) tarafından yapılan araştırmalarda çalışmaların %43 deneysel, %32 analitik modelleme ve %18'de sonlu elemanlar yöntemi olan nümerik modelleme yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Son yıllarda metal kesmede uygulanan sonlu elemanlar modeli bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

Deneysel ve analitik metotlarla karşılaştırıldığında sonlu elemanlar metodunun talaş oluşum analizinde kullanılması bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlar;

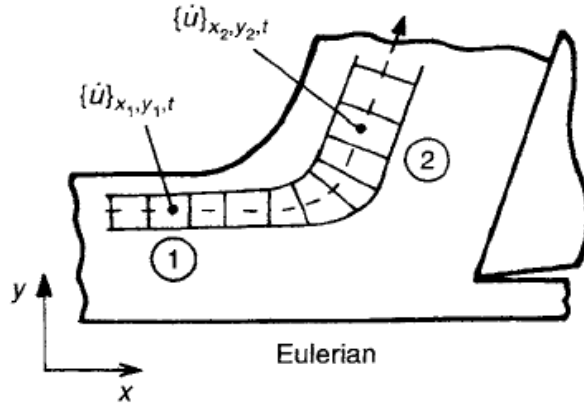
- Malzeme özellikleri, şekil değiştirme miktarı, şekil değiştirme hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir.
- Takım talaş ara yüzeyi yapışma ve kayma bölgesi olarak ayrı ayrı modellenebilir.
- Talaşın serbest yüzeyi gibi non-linear geometrik sınırlar kullanılabilir.
- Kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve talaş geometrisi gibi değişkenlerin yanı sıra lokal gerilmeler ve sıcaklık dağılımları da elde edilebilir.

Sonlu elemanlar metodu 1970’den bu yana birçok araştırmacı tarafından işleme simülasyonunda kullanıldı. (Ng and Aspinvall 2002). Buna ilaveten ticari FEM programları talaş oluşumu simülasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan bu programlar içerisinde en çok tercih edilenler ABAQUS, MARC, DEFORM 2D, FORGE 2D, ALGOR, FLUENT, LS DYNA olup, bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmıştır. 1970 den 1999 yılları arasında ticari FEM programları ve modelleme teknikleriyle yapılmış çalışma sayısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



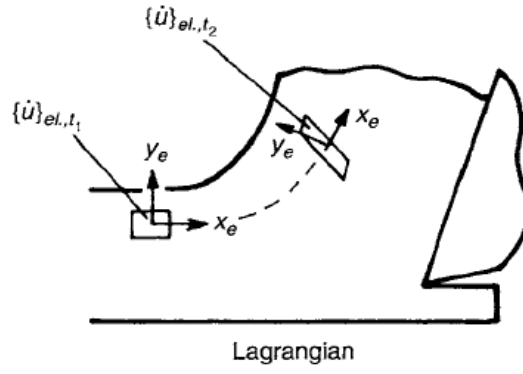
Şekil 3.1 Metal kesme işleminin modellenmesinde kullanılan yaklaşımların yıllara göre dağılımı (Ng and Aspinvall 2002).

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere kesme işleminin modellenmesinde üç farklı teknik kullanılmaktadır. Bu teknikler aşağıda kısaca açıklanmıştır. Eulerian yaklaşımı; Bu yaklaşımda sonlu eleman ağı (mesh) sabittir. Mesh yapısında zaman içinde bozulma veya çarpılma olmadığından, yeniden mesh üretimi gerçekleşmemektedir. Fakat bunun yapılabilmesi için talaş şeklinin önceden tanımlanması gerekmektedir. Bu yöntem kararlı kesme prosesi (steady state of cutting process) için geçerlidir. Dolayısıyla değişken olan kesme kalınlıklarında (frezeleme), yüksek hızda kesmenin ve kopuk talaş oluşumunun modellenmesinde bu yaklaşım kullanılamaz. Her kesme adımında mesh yapısı yenilenmediğinden çözüm süresi oldukça kısadır. Şekil 3.2 de bu yöntemle takım talaş ara yüzey sıcaklığını tespit etmek için oluşturulmuş bir sonlu eleman sonucu verilmiştir.



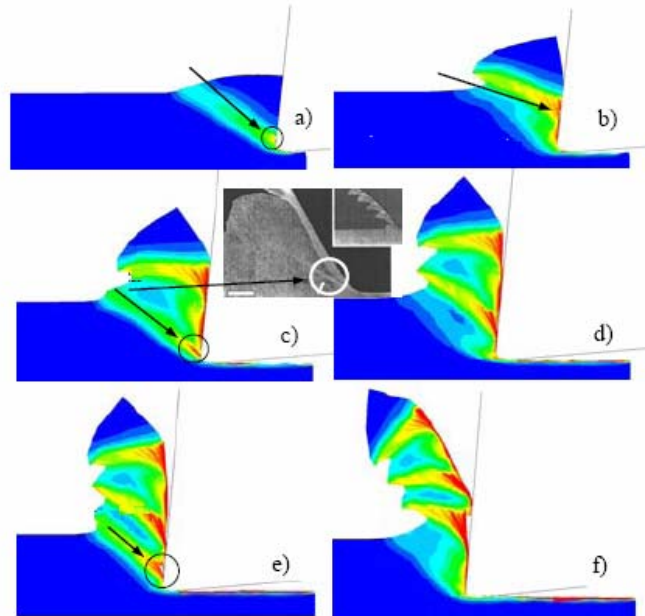
Şekil 3.2 Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Eulerian yaklaşımı

Lagrangian yaklaşımı; Bu yaklaşımda mesh malzeme ile birlikte akmaktadır. Bir anlamda talaş oluşumunun her aşamasında mesh yapısı değişmektedir. Buna bağlı olarak da eleman ve düğüm sayısı da değişebilmektedir (Şekil 3.3). Bu yaklaşımda talaş şeklinin önceden tanımlanması gerekmez. Dolayısı ile elde edilen talaş şekli deneysel olarak elde edilen talaş şekline benzemektedir.



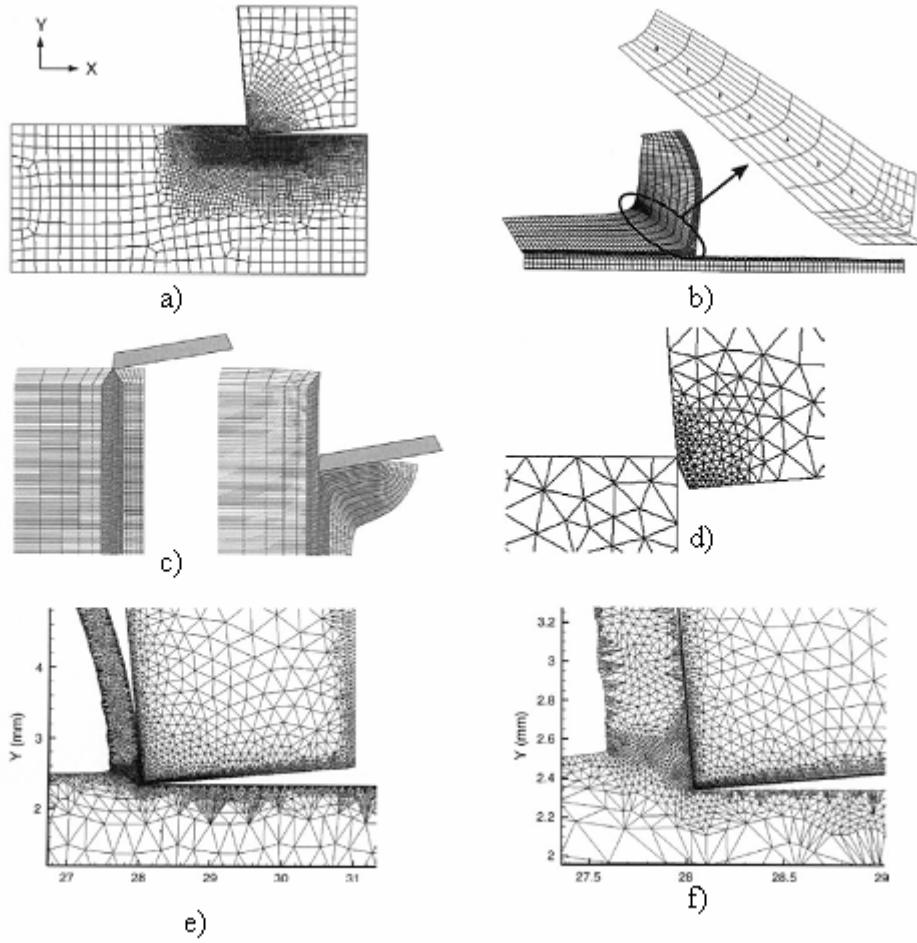
Şekil 3.3 Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Lagrangian yaklaşımı

Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yaklaşımı; Bu yaklaşım adından da anlaşılacağı üzere yukarıda verilen her iki yaklaşımı birleştirmektedir. Bu yaklaşımda mesh iş malzemesinden bağımsız hareket etmesine izin verilir. Buda yüksek oranda şekil değişiminin meydana geldiği analizlerde oldukça önemli bir unsurdur (Şekil 3.4). Birçok ticari yazılım programları bu yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yaklaşımda sadece sürekli talaş oluşumu değil, aynı zamanda kesikli talaş oluşumunun modellenmesi de mümkündür.



Şekil 3.4 Ortogonal kesme işlemindeki ALE yaklaşımı ile elde edilmiş sonuçlar (Guo and Wen 2005).

Ortogonal kesme işleminin modellenmesinde çoğunlukla kaplanmış kesici takımlar tercih edilmiştir. Buna karşı son birkaç yıl içerisinde kaplamanın da etkisini modellemeye yönelik çalışmalar göze çarpmaktadır. (Leopold et al 2001, Yen et al 2003). Yapılan bu çalışmalarda tek kaplama etkisinin yanı sıra çoklu kaplamanın etkisi de incelenmiştir. Şekil 3.5'te metal kesme işleminin simüle edilmesinde kullanılan yazılımların kullanıldığı çalışmalarda sonlu eleman modelleri verilmiştir.



Şekil 3.5 Bazı ticari yazılımlar kullanılarak ortogonal kesme işleminin modellenmesi:

- a) Deform-2D (Yen et al. 2004) ,(Umbrello et al. 2007), (Ee et al. 2005)
- b) ABAQUS (Lei et al. 1999 ) c) I-FORM2 (Rosa et al 2007)
- d) FORGE2 (Ng et al. 1999) e), f) AvantEdge (Kalhori 2007), (Gresik et al 2005)

Genel sonlu eleman ifadelerinde düğüm deplasman vektörü ile rijitlik matrisinin çarpımı yük vektörüne eşittir. Buna göre;

$$[K][U] = [F] \quad (27)$$

Burada [K] global rijitlik matrisi, [U] deplasman vektörü ve [F] ise yük vektörüdür. Fakat talaş kaldırma işlemi zamana bağlı bir dinamik modelleme gerektirdiği için (28) nolu ifade;

$$[F_{(t)}] = [K][U] + [M^1] \left[ \dot{U} \right] + [M^2] \left[ \ddot{U} \right] \quad (28)$$

şeklini alır. Burada  $M^1$  sönüm matrisi,  $\dot{U}$  Düğüm hız vektörü  $M^2$  kütle matrisi;  $\ddot{U}$  düğüm ivme vektörüdür. Deform 2D yazılımı malzemeye ait mekanik ve termal özellikler girilip, sınır şartları uygulandığında yukarıdaki (28) nolu denklem çözülmüş olup her bir düğümdeki yer değiştirmeler elde edilmektedir.

### 3.2 Malzeme Modeli

Kesme işleminin modellenmesinde deneysel verilere yakın sonuç elde edebilmek için malzeme özelliklerinin çok iyi tanımlanması önemlidir. Malzeme özellikleri tanımlanırken malzemenin sadece mekanik özelliği değil termal özellikleri de dikkate alınmalıdır. Bu amaçla birçok malzeme modeli geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları şekil değiştirme hızı daha düşük olan şekillendirme işlemlerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Buna karşın şekil değiştirme hızı çok yüksek olan talaş kaldırma işleminin modellenebilmesi için farklı şekil değiştirme hızlarında malzemenin göstermiş olduğu davranışı ifade eden modellerin kullanılması gerekmektedir.

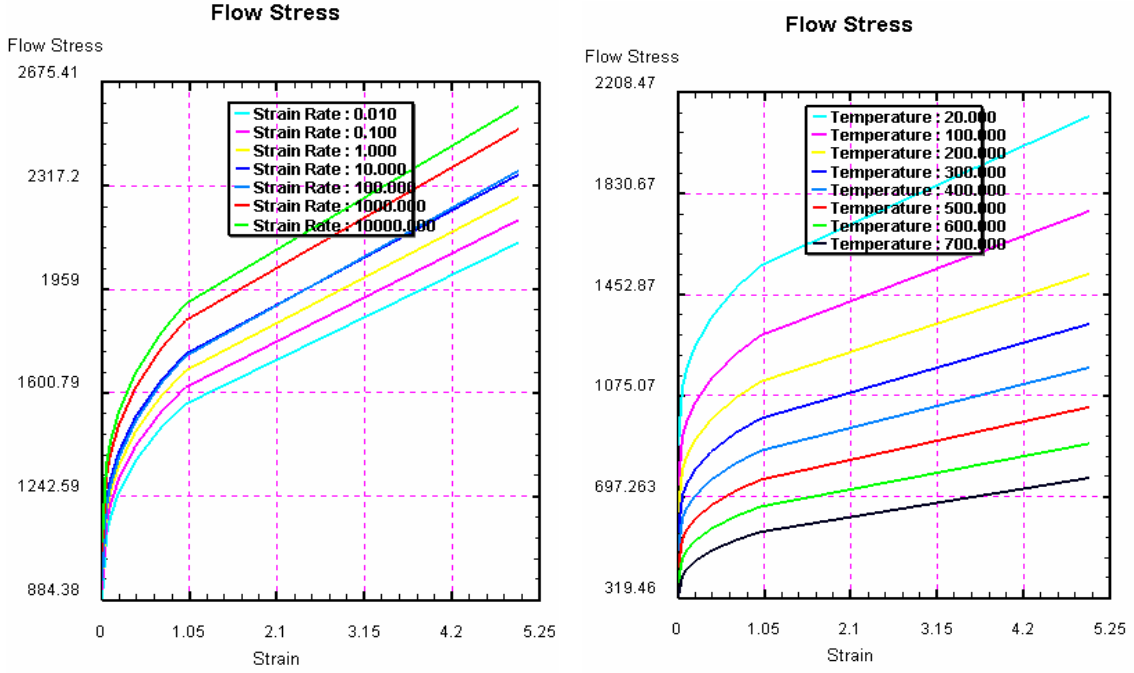
Talaşlı imalatın modellenmesinde en yaygın olarak kullanılan modellerin başında Oxley ve Johnson-Cook malzeme modelleri gelmektedir. Özellikle Johnson-Cook malzeme modeli; sıcaklığa, şekil değiştirme hızına ve şekil değiştirme sertleşmesini dikkate



almaktadır. Dolayısı ile yapılan bilimsel çalışmalarda en çok tercih edilen ve deneysel verilere en yakın sonuçlar veren bir modeldir. Ortogonal kesme işlemini modellerken iki unsuru dikkate almak gerekir. Bunlardan biri kesici takım diğeri ise iş parçasıdır. Kesici takım yeterince keskin ve herhangi bir aşınmaya uğramadığı kabul edilir. Bu nedenle birçok çalışmada kesici takım rijit olarak modellenir. Malzeme modeli olarak kullanılan Johnson-Cook eşitliği bir anlamda sadece iş parçasını ifade eden denklem (29) da verilmiştir.

$$\bar{\sigma} = \left[ A + B(\bar{\epsilon})^n \right] \left[ 1 + C \ln \left( \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_o} \right) \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (29)$$

Burada;  $\bar{\sigma}$  malzemenin akma gerilmesi,  $\dot{\bar{\epsilon}}$  şekil değiştirme hızı,  $\dot{\bar{\epsilon}}_o$  referans şekil değiştirme hızı,  $\bar{\epsilon}$  eşdeğer plastik şekil değiştirme, A akma gerilmesi sabiti, B şekil değiştirme sertleşmesi katsayısı, n şekil değiştirme üssü, C şekil değiştirme hızına bağlı katsayı, m sıcaklığa bağlı katsayı, T sıcaklık,  $T_r$  oda sıcaklığı ve  $T_m$  ise malzemeye ait ergime sıcaklığıdır. Bu denklemdeki sabitler Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) test düzeneğinden elde edilmektedir (Pereira and Lerch 2001). Johnson-Cook malzeme modelinin en önemli özelliği iş parçası malzemesine ait akma mukavemeti değerlerini, sıcaklığa, şekil değiştirme hızına bağlı olarak ifade ediyor olmasıdır. Şekil 3.6 da verildiği gibi malzemenin gerilme-şekil değiştirme grafiği sıcaklığa ve şekil değiştirme hızına bağlı olarak değişmektedir. Artan sıcaklık değeriyle birlikte malzemenin mukavemeti düşecektir. Bununla birlikte artan şekil değiştirme hızı da malzeme mukavemetinin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.6 AISI 4340 malzemesinin gerilme ve sıcaklığa bağlı şekil değiştirme hızında meydana gelen flow stres değerleri

Kesme süresi tamamlanıncaya kadar simülasyonu yapılan kesici takım iş parçasına dalarak kaldırılacak talaşı kesmektedir. Malzeme üzerindeki AB hattı boyunca talaş ayrılmasını BC takım talaş ara yüzeyi boyunca kaymayı belirlemek amacı ile bir temas yüzeyi tanımlanmıştır. Temas halindeki malzeme ve kesici başlangıçta ayrı veya temasta olduğuna karar vermek amacı ile büyük bağıl hareketlere imkân veren Coulomb sürtünme modeli kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada talaş açısının artması ile beraber talaş kalınlığının azaldığı buna karşın talaş hızı ile kayma düzlemi açısının arttığı belirlenmiştir. Alüminyum alaşımlı parçaların işlenmesinde talaş açısındaki azalma alüminyum alaşımları için süreksiz talaş oluştuğu, kayma önü açısında bir azalmaya ve kayma düzlemindeki açısındaki artışın dislokasyon yoğunluğunda bir artışa sebep olduğu, bununda talaş kaldırma sırasında plastik deformasyonu tanımlayan kayma ve kayma önü açısının işleme sertleşmesinin oluşmamasına sebep, olduğu bakırın işlenmesinde ise kayma düzlemi açısının azalması ile işleme sertleşmesinin gerçekleştiği görülmüştür (Wince 2002).

### 3.3 Kesme Kuvveti ve Gerilmelerin Modellenmesi

Kesme kuvvetinin modellenmesi ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Literatürde yapılan çalışmaların büyük bir bölümü esas kesme kuvveti üzerinedir. Esas kesme kuvveti çok sayıda parametre kullanılmak suretiyle ifade edilmektedir. Esas kesme kuvvetinin sonuçlarının güvenilir olarak alınabilmesi için kuvvet modelinde kullanılan kesme parametrelerin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde bu alanda yapılmış analitik ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Kesme sırasında kesici takımda oluşan gerilmelerin modellenmesi ve sonuçların elde edilmesi ile ilgili fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. Kesme kuvveti ve gerilmelerin modellenmesini kapsayan çalışmalar genelde 2 boyutlu olarak yapılmış olup kesici takım üzerine gelen normal ve kayma gerilmeleri, esas ve pasif kesme kuvvetleri çeşitli parametreler yardımı ile modellenmiştir. Kesme kuvvetleri ve gerilmelerin modellenmesinde kullanılan kesme parametrelerinin analitik yaklaşımlarının zor çözümlenebilirliği ve deneysel çalışmalarının maliyetlerinin yüksek olması nedeni ile güvenilir ekonomik ve kesme şartlarına uyabilen kolay ve uygulanabilir modellerin geliştirilebilmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında AISI 4340 malzemesi üzerinden talaş kaldırma esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin deneysel olarak yapılması, kesici takım üzerine gelen kesme kuvvetlerinin, takım üzerinde meydana gelen gerilmelerin ve kesme esnasında oluşan kesme ısısının sonlu elemanlar metoduna dayalı DEFORM 2D paket programı kullanılarak modellenmesi ve deneysel çalışma verileri ile karşılaştırarak değerlendirilmesi olarak tanımlanabilen bu araştırma konusunun, literatürden farklı özellikler oluşturmasına neden olmaktadır.

## **4. MATERYAL VE METOD**

### **4.1 Deneysel Çalışmalar**

Bu çalışmada, AISI 4340 malzemesinin işlenerek, elde edilen kesme kuvvetleri sonuçları deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, farklı kesme parametreleri kullanılarak, kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar ile işlenen AISI 4340 malzemesi üzerinden ortagonal kesme şartları altında kesme deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kesici takımlar ISO standardına göre tek noktadan kesme yapan talaş kırıcısız ve farklı kaplama kalınlıklarında WC kesici takımlar kullanılmış, üretici firmanın tavsiye ettiği kesme parametreleri sınırları içinde kalmak şartı ile bir dizi testler yapılmıştır. Bununla birlikte takım üzerinde oluşan kesme sıcaklığı ve gerilmeler nümerik olarak değerlendirilmiştir.

### **4.2 İş Parçası Numunesinin Genel Özellikleri**

Kesici takımdaki oluşan asıl ve pasif kesme kuvvetlerinin analizinde farklı kesme şartları (kesme hızı, ilerleme ve kesici takım) için kesici takımlarda oluşan kesme kuvvetlerinin incelenmesinde yapılan deneysel çalışmalarda üç adet AISI 4340 iş parçası kullanılmıştır. Kullanılan AISI 4340 çeliği 23 HRC sertliğinde olup yapılan ısıl işlemler ile mukavemetleri artırılarak hava araçlarında, otomobillerde, büyük taşıtlarda ve genel mekanik mühendislikte yüksek gerilmeye maruz parçalarda, dişliler, miller, krank milleri, pistonlar, piston kolları, bağlantı rotaları, ön aks, aks kovanı, direksiyon parçaları, eksantrik mili, çeşitli miller, tarak pimi, burçlar gibi çok zorlanan parçalarda kullanılır. Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, uçak boru takımları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, starter dişlilerinde, gibi birçok yerde kullanılmaktadırlar. Deneylerde kullanılan AISI4340 malzemesinin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir (İnt. kyn.1).

Çizelge 4.1 AISI 4340 malzemesine ait kimyasal birleşim oranları (% ağırlık) özellikleri  
(İnt. kyn.1).

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Fe
0,38 0,43	0,60 0,80	0,035 (max)	0,040 (max)	0,15 0,30	0,70 0,90	0,20 0,30	1,65 2,00	Geri kalan %

Çizelge 4.2 AISI 4340 malzemesine ait fiziksel özellikleri (İnt. kyn.1).

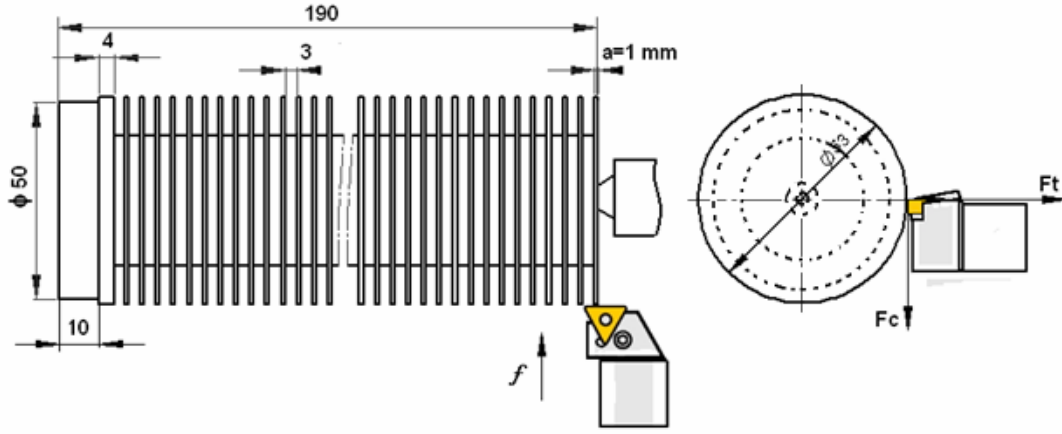
Yoğunluğu ( kg/m <sup>3</sup> )	Erime Noktası (°C)	Poisson Oranı	Sertlik, HB	Temper Sıcaklığı
7.7- 8.03	1413 °C	0.27- 0.30	23 HRC	870°C normalize edilmiş

### 4.3 Ortogonal Kesme İşlemi İçin Deney Numunesi

Deneysel çalışmada kullanılan AISI 4340 malzemelerinin Ø 53x190 mm ölçülerindeki kütük malzeme üzerinden ortogonal kesme yapılabilmesi için 1 mm kalınlığında ve 15 mm derinliğinde kanallar oluşturularak deney numuneleri hazırlanmıştır. Resim 4.1 ve Şekil 4.1 de hazırlanan malzemenin resmi ve işleme şekli görülmektedir.



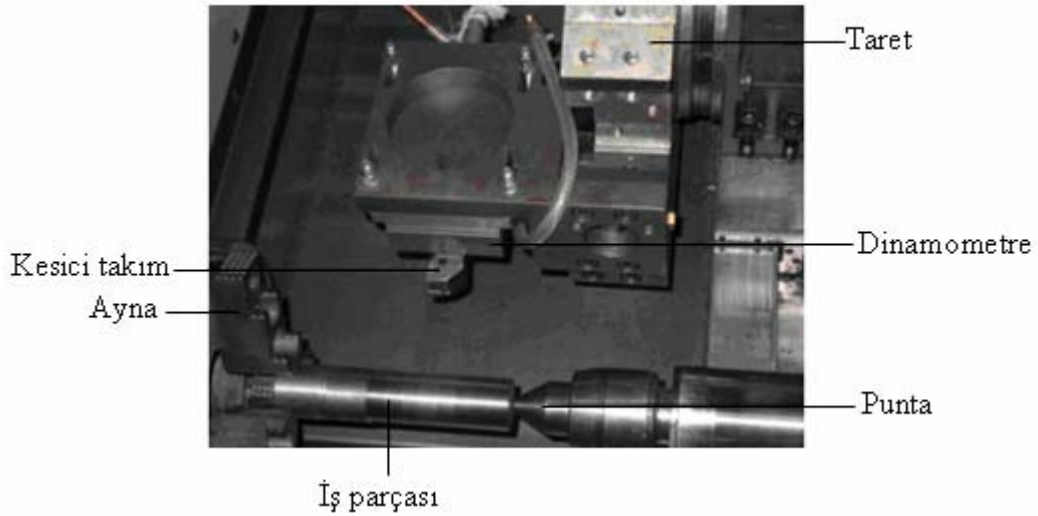
Resim 4.1 Deney numunesinin resmi



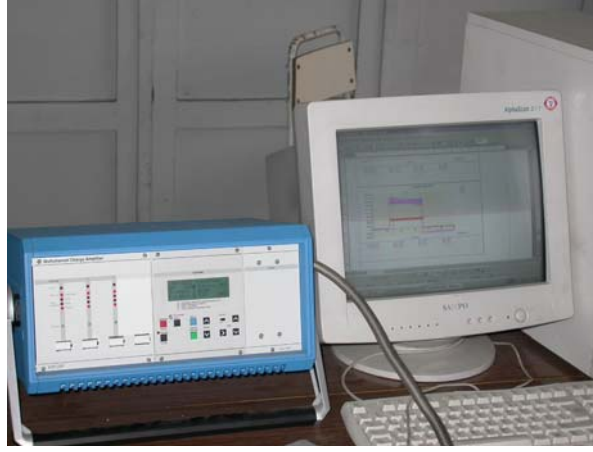
Şekil 4.1 Deney numunesi teknik resmi ve işleme şekli

#### 4.4 Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Deneysel çalışma için Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı, CNC atölyesinde bulunan gücü 10 kw, ayna çapı 250 mm devir sayısı azami 4000 dev/dak tezgâhın hassasiyeti 0,001 mm,12 takım tutucu taret, x ekseninde 250 mm, z ekseninde 600 mm hareket kabiliyeti olan JOHNFORD T35 CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Kistler 9257B tip üç kuvvet bileşenini de ölçebilen bir piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin tezgaha bağlanmış kısmı Resim 4.2 de, bilgisayara bağlantısı ise Resim 4.3 de verilmiştir.



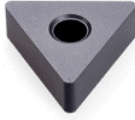

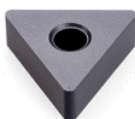
Resim 4.2 Dinamometrenin tezgaha bağlanmış şekli.



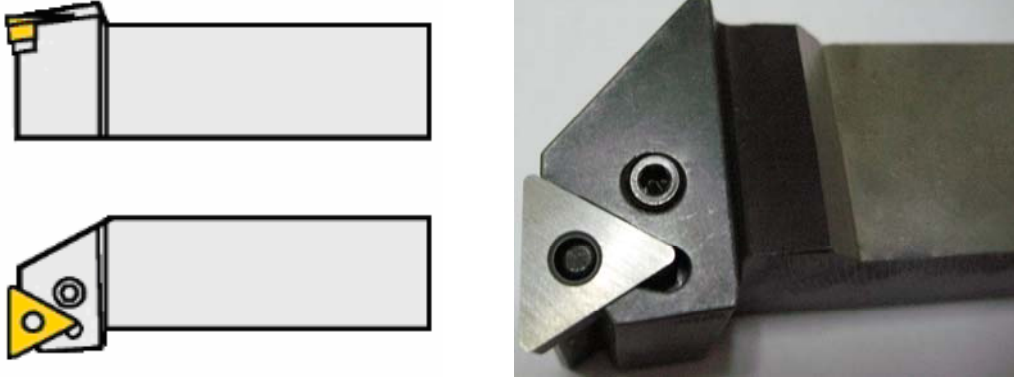
Resim 4.3 Dinamometrenin bilgisayara bağlantısı.

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım ucu olarak ISCAR firmasının üretmiş olduğu TNMA 160408 serisine ait IC20 WC kaplamasız kesici takım, IC4028 TiCN+AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takım ve IC428 AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takım olmak üzere 3 farklı kesici takım kullanılmıştır. Çizelge 4.3 te çalışmada kullanılan her üç kesici takımın özellikleri verilmiştir. Çizelgede verilen sertlik ve eğilme mukavemeti değerleri tam değerleri ifade etmemekle birlikte ISO sınıfına karşılık gelen değerlerdir.

Çizelge 4.3 Çalışmada kullanılan kesici takım özellikleri.

	ISO Sınıfı	Sertlik (HRA) (İnt Kay. 2)	Eğilme Mukavemeti (MPa) (İnt Kay. 2)	Kaplama Yöntemi	Kaplama Türü
 IC428	P05-P15 K05-K20	91,5±1,5	1760-1820	CVD	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
 IC4028	K05-K20	≥91,5	1360	CVD	TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN
 IC20	M10-M25 K10-K20	91	2060	----	----

Kesici takım tutucusu olarak SANDVIK Coromant firmasının Resim 4,4'deki kesme işlemi esnasında  $90^\circ$  yaklaşma açısına sahip PTFNR 2525M16 seri numaralı takım tutucusu kullanılmıştır.



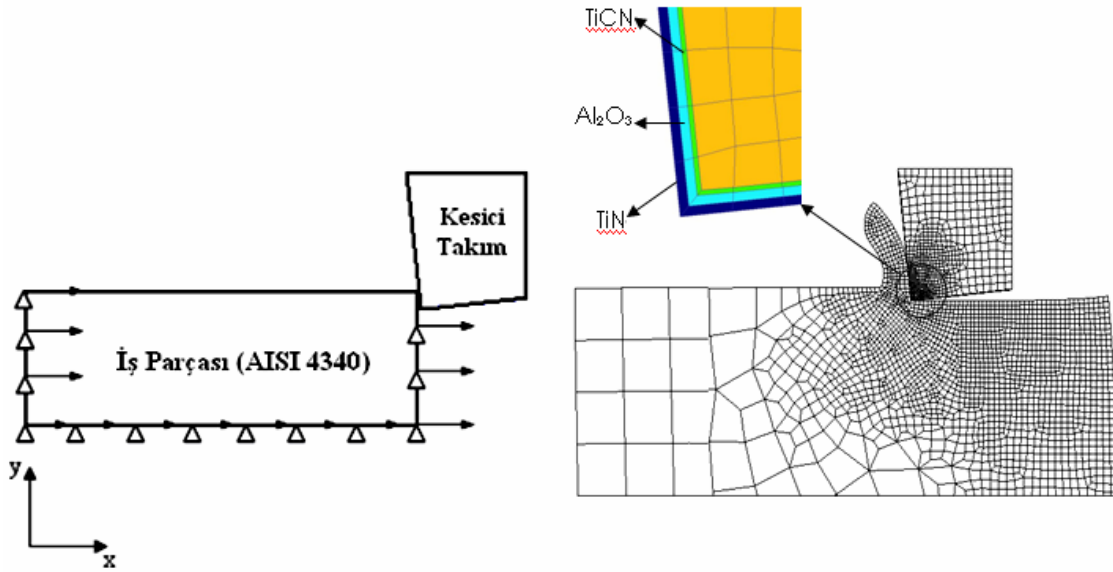
Resim 4.4 Deneylerde kullanılan takım tutucu

Kullanılan kesme parametreleri; kesme hızı 60- 120-180-240- 300 m/dak talaş derinliği 1 mm ve ilerleme hızı 0,05-0,075-0,1-0,2 mm/dev olarak alınmıştır.

#### 4.5 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları

Nümerik çalışmada yapılan sonlu elemanlar çözümlerinde ortogonal kesme işlemlerinde kullanılan Deform-2D sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. Her bir çözüm aralığında elde edilen veriler program tarafından kaydedilmiş olup, çözümler esnasında remeshing tekniği kullanılarak her bir çözüm aralığı için yeniden bir sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 4.2 de verilmektedir. Problemin modellenmesinde 4 düğümlü izoparametrik elemanlar kullanılmıştır. Kaplanmış kesici takımların kaplama kalınlıkları Iscar firması tarafından verilen değerler baz alınarak modellenme yapılmıştır. Ayrıca kesme işlemlerinde kayma sürtünme faktörü ( $m$ ) deneysel verilerle yakınsamasında nümerik çalışmada en iyi değeri verdiği için 1 olarak alınmıştır. Takım-talaş ara yüzey için ısı transfer katsayısı  $45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  alınmıştır.





Şekil 4.2 Nümerik çözümlerde kullanılan iki boyutlu sonlu elemanlar modeli

#### 4.6 Malzeme Modelinin Tespiti

Deney çalışmalarında kullanılan AISI 4340 malzemesinin sonlu elemanlar modelinin tespitinde literatürde yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Literatür araştırmalarından elde edilen model katsayıları kullanılarak DEFORM-2D programında çözümlenmeler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri verileri göz önünde bulundurulmuş ve AISI4340 malzemesi için en uygun model tespit edilmiştir. Literatürde malzemeye ait modeller Çizelge 4.4 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 AISI 4340 için malzeme modeline ait katsayılar

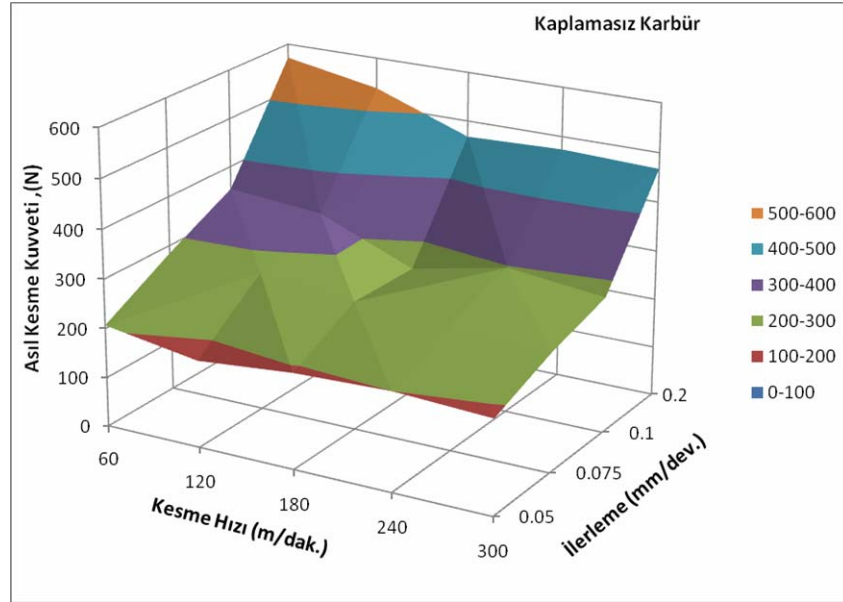
Yapılan çalışmalar	A(MPa)	B(MPa)	n	C	m
Guo, Y. 2004	792	510	0,26	0,014	1
Ng, E. 2002	950	725	0,375	0,015	0,625
Rattazi, D. 1996	910	586	0,26	0,014	1,03

Literatürden elde edilen modeller ile yapılan nümerik çözümlenmeler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış olup (Ng 2002). yapmış olduğu çalışmadan elde ettiği model ile yapılan çözümlenmelerin deneysel çalışmadan elde edilen verilerin sonuçları ile yakınsadığı tespit edilerek model kullanılmıştır.

## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 5.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi

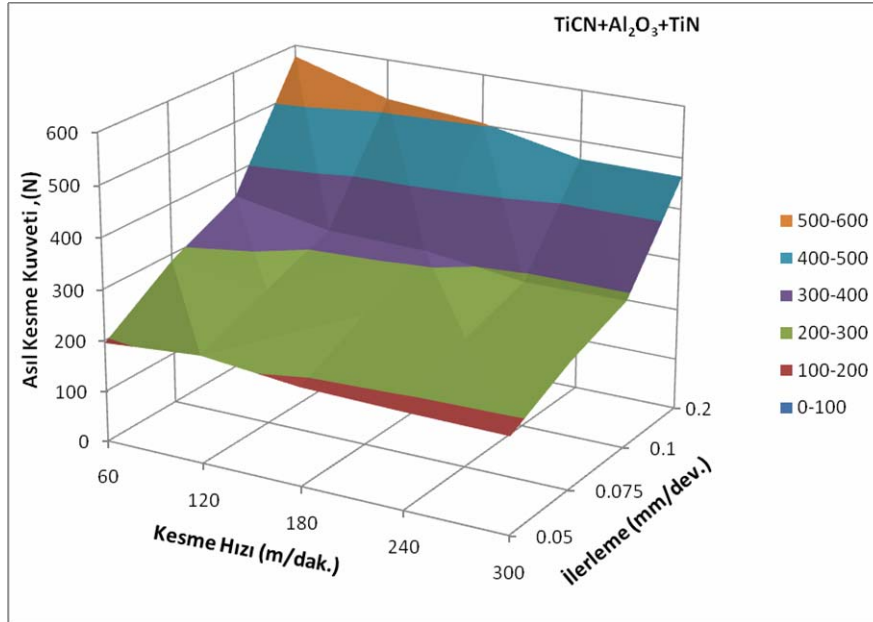
Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında her üç kesici takım için aynı kesme şartlarında elde edilen asıl kesme kuvvetinin değişimi Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te verilmektedir. Her üç grafikten de görüleceği üzere artan ilerleme değerlerine bağlı olarak asıl kesme kuvveti artmaktadır. Artan ilerleme değeri birim zamanda kaldırılan talaş kesitinin artmasına neden olduğundan, kesici takıma etkiyen basınç ta artacaktır. Bunun sonucunda da kesme için gerekli olan kuvvet artacaktır. Yine her üç kesici takım için elde edilen asıl kesme kuvveti sonuçlarında ortak olan diğer bir nokta ise, düşük kesme hızlarında elde edilen kesme kuvvet değerlerinin yüksek olmasıdır. Bir anlamda kesme hızının azalmasıyla birlikte iş parçasından talaş koparmak daha da zorlaşmaktadır. Artan kesme hızıyla birlikte birinci deformasyon bölgesindeki kesme sıcaklığı artmakta ve kesme bölgesinde termal bir yumuşama meydana gelmektedir. Bu da kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca her üç takım beraber değerlendirildiğinde, asıl kesme kuvvetleri açısından aralarında çokda ciddi bir farkın olmadığı görülmektedir.



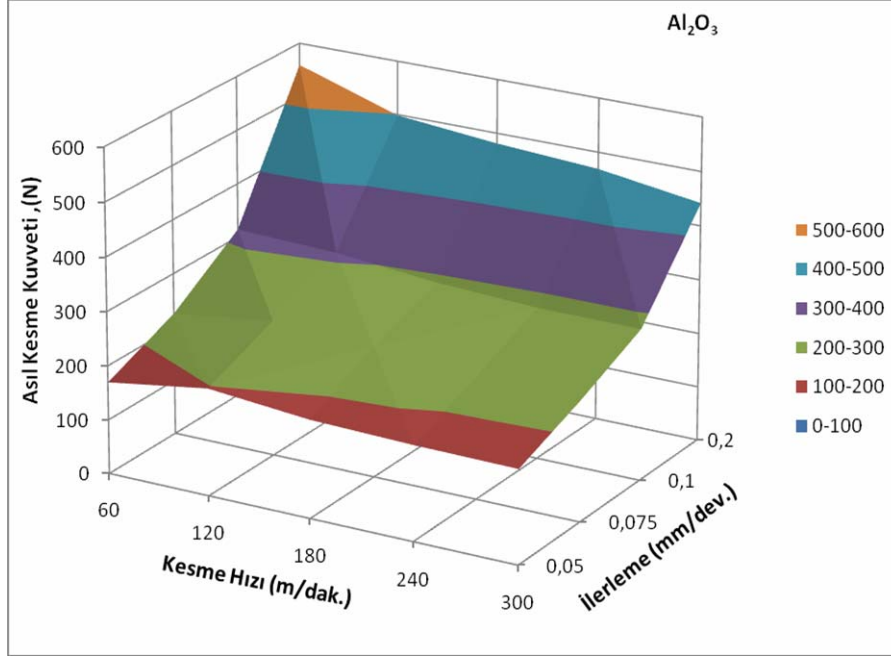
Şekil 5.1 Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.

TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin kaplamasız ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takıma nazaran daha büyük olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle  $f = 0,05\text{mm/dev}$  için elde edilen kesme kuvvetleri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takımla karşılaştırıldığında önemli farklılıkların olduğu görülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takımında kesme kuvvetlerinin daha düşük olmasının nedeni ise takım-talaş ara yüzeyindeki daha düşük olan sürtünme katsayısı olabilir. Çünkü takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının azalmasıyla talaş, takım yüzeyinden daha kolay ayrılmakta ve ayrıca talaşın takım yüzeyine yapışma eğilimi azalmaktadır.

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te dikkati çeken diğer bir nokta ise  $V = 120\text{m/dak.}$  ve  $f = 0,05\text{mm/dev}$  için elde edilen kesme kuvveti değerleridir. Dikkate edilecek olursa bu kesme parametreleri için asıl kesme kuvveti kaplamasız kesici takımında minimum değerini alırken, kaplanmış her iki takımında da maksimum değerini almaktadır. Ayrıca artan kesme hızıyla birlikte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takımındaki asıl kesme kuvveti değerleri daha belirgin bir azalma eğilimi göstermektedir. Bu azalma kaplamasız kesici takımlarda çok daha az oranlarda gerçekleşmiştir.



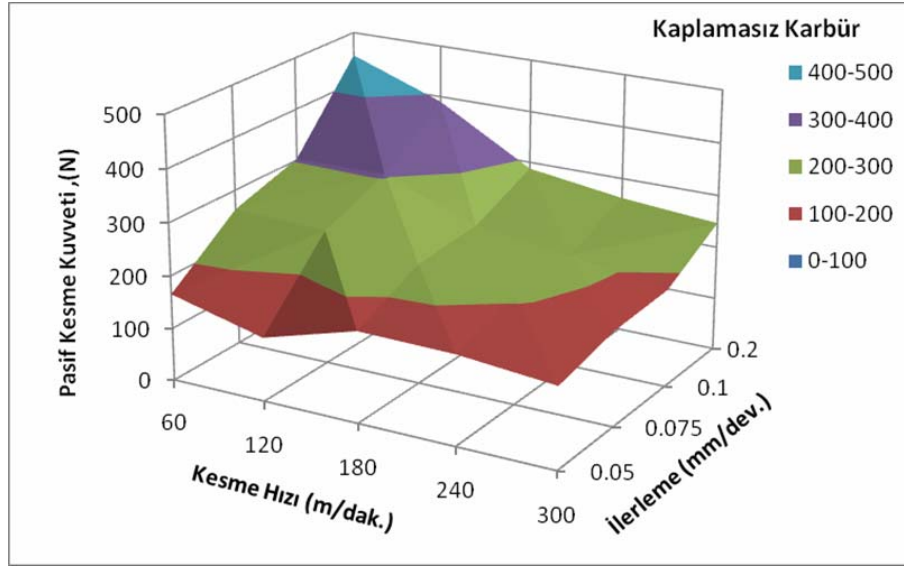
Şekil 5.2 TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.



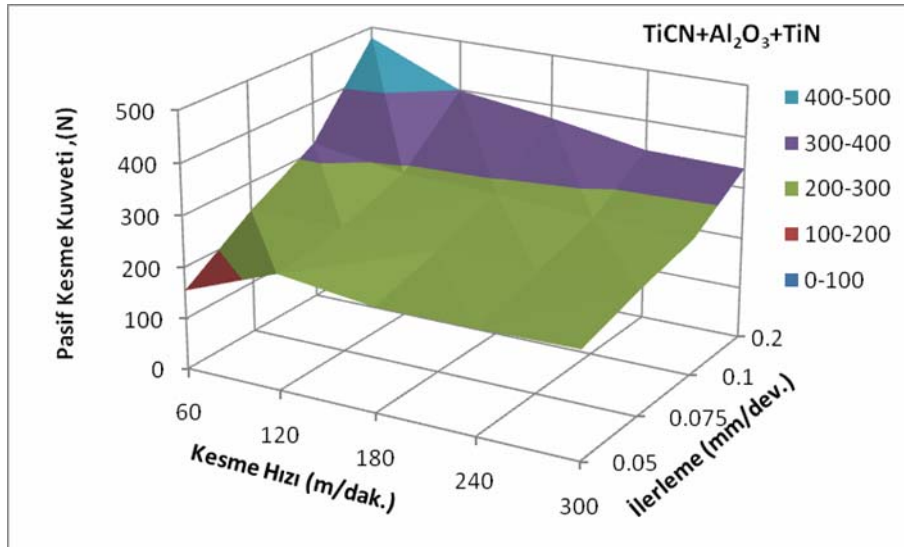
Şekil 5.3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.

Tornalama işleminde kesici takıma etkiyen pasif kesme kuvvetleri genellikle en küçük kesme kuvvetleridir. Ortogonal kesme işleminde pasif kuvvetler aynı zamanda ilerleme kuvveti olarak da adlandırılmaktadır. Çünkü kesici takımın ilerleme yönü iş parçası eksenine diktir. Bu çalışmada da elde edilen pasif kesme kuvveti değerlerinin değişimi Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmektedir. Dikkat edilecek olursa, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak her üç takımda da kesme kuvvetleri artarken, artan kesme hızına bağlı olarak her üç takımda değişken özellik gösterdiği farkedilecektir. Kaplamasız ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>kaplı kesici takımda en düşük ilerleme değerlerinde elde edilen kuvvet değerleri TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takıma nazaran belirgin şekilde düşük olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla maksimum pasif kuvvetler, asıl kesme kuvvetlerinde şartlarında olduğu gibi, TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takımda elde edilmiştir. Artan kesme hızına rağmen  $f = 0,5\text{mm/dev}$  için TiCN +Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takımdan elde edilen kuvvet değerleri bir azalma göstermemiştir. Asıl kesme kuvvetlerinde olduğu gibi  $V = 120\text{m/dak}$  ve  $f = 0,05\text{mm/dev}$  için olan ilginç durumu burda da görmek mümkündür. Yani kaplamasız karbürlü kesici takımda pasif kesme kuvveti ilgili kesme

şartlarında minimum değer alırken, diğer kaplanmış her iki takımda pasif kesme kuvveti değerleri daha yüksektir.



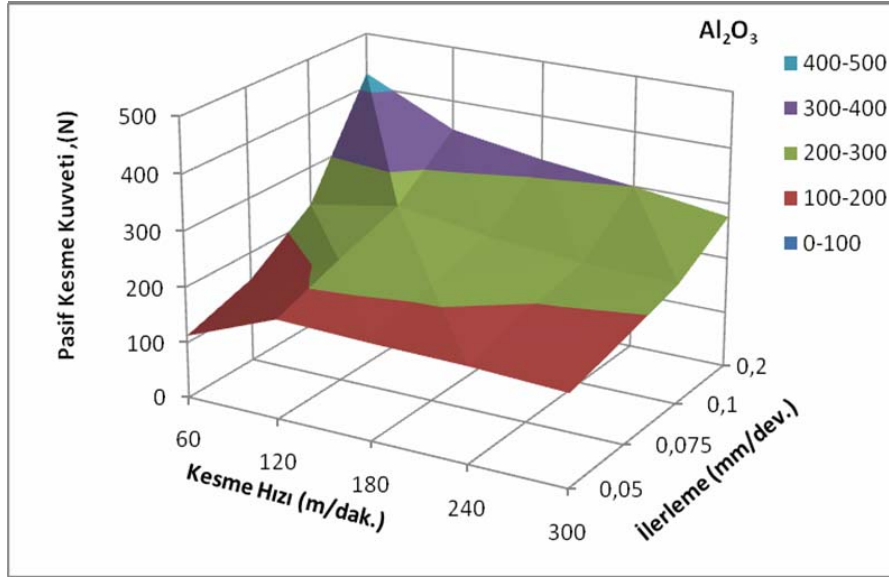
Şekil 5.4 Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi.



Şekil 5.5 TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi.

Hem asıl kesme kuvvetleri ve hem de pasif kesme kuvvetleri açısından bir değerlendirme yapıldığında, AISI 4340 iş malzemesinin işlenmesinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici

takımın daha uygun olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte artan ilerleme ve kesme hızı değerlerine bağlı olarak,  $Al_2O_3$  kaplı kesici takım var olan teorik yaklaşımlar baz alındığında daha kararlı bir davranış sergilemiştir. Bilindiği üzere, işlenebilirlik kavramında sadece kesme hızını referans almak yeterli olmayacaktır. Bununla birlikte özellikle takım aşınması için ilave deneyler yapılmalıdır.



Şekil 5.6  $Al_2O_3$  kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde pasif kesme kuvvetinin değişimi.

## 5.2 Deneysel ve Nümerik Verilerin Karşılaştırılması

### 5.2.1 Kesme Hızının Etkisi

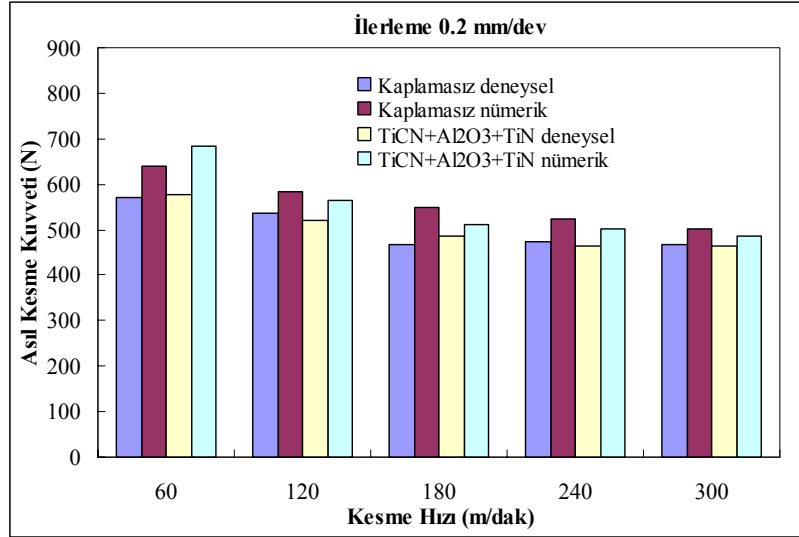
Yapılan çalışma neticesinde iki farklı kesici takım (Kaplamasız karbür,  $TiCN+Al_2O_3+TiN$ ,) için elde edilen deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması Şekil 5.7 de verilmiştir. 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve her bir kesici takım için yapılan değerlendirmede, kesme hızının artmasıyla birlikte asıl kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Kesme hızındaki %100' lük bir artışla birlikte her iki kesici takımlar için, kesme kuvvetleri yaklaşık %10-20 oranında azalmakta ve kesme hızındaki artışla doğru orantılı bir biçimde kesme kuvvetlerinin de azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında deneysel olarak yapılan çalışmada maksimum asıl kesme kuvveti değeri 60 m/dak kesme hızında ve  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımla yapılan kesme

işleminde yaklaşık olarak 580 N olarak elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 300 m/dak kesme hızında ve  $Al_2O_3$  kaplamalı kesici takımında yaklaşık olarak 440 N olarak elde edildiği Şekil 5.8 den görülmektedir. . Kesme kuvvetleri, kesme hızının artmasıyla azalmaktadır. Çünkü kesme hızının artmasıyla, birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen sıcaklıkta artmaktadır. Bununla birlikte, iş parçası akma mukavemeti, talaş kalınlığı ve takım talaş temas uzunluğu azalmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetleri üzerinde doğrudan etkili olan bu parametrelerdeki azalma kesme kuvvetlerinin de azalmasına neden olmaktadır. (Ng ve Aspinwall 1999, De Garmo et al.1984).

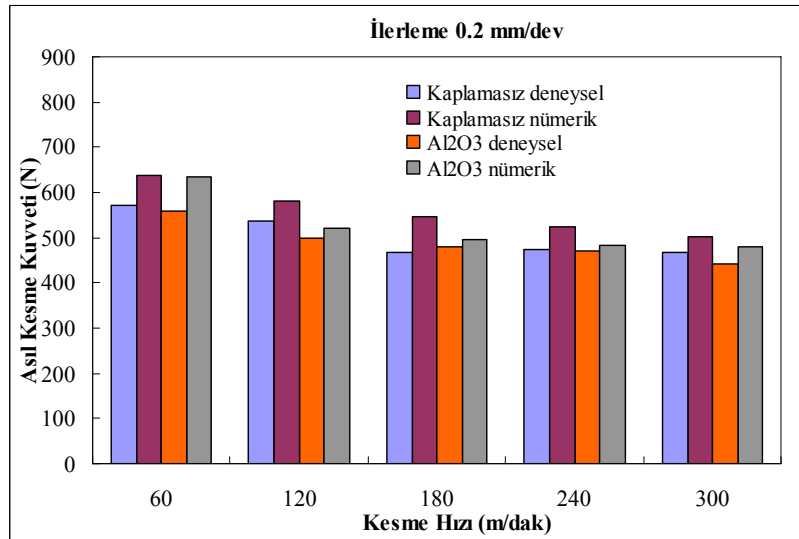
Deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında ise, bütün kesme hızları ve kaplama türleri ile yapılan kesme işlemlerinde, deneysel ve nümerik sonuçlar arasında genel anlamda bir uyumun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kesme hızının artmasıyla sonuçlar arasındaki uyumunda arttığı Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da görülmektedir. Bu kapsamda, en düşük yakınsama  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takım ile, 60 m/dak. kesme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık % 87 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama ise 300 m/dak kesme hızında yaklaşık olarak % 97 olmuştur. Kullanılan diğer kesici takımlardan elde edilen değerler de yaklaşık olarak bu oranlar arasında değişmektedir. Her üç kesici takım için elde edilen ortak diğer bir nokta ise, düşük kesme hızlarında ( $V = 60m/dak.$ ) deneysel olarak elde edilen asıl kesme kuvvetleri ile nümerik sonuçlar arasındaki farkın artmasıdır. Bunun nedeni nümerik modelleme için kullanılan malzeme modelinin düşük kesme hızlarında geçerliliğini yitirmesidir. Çünkü her Johnson-Cook malzeme modeli belirli şekil değiştirme hızı aralığında deneysel sonuçlara yakın sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla çok düşük veya çok yüksek kesme hızlarında şekil değiştirme hızı da önemli ölçüde değişmektedir. Böylece deneysel ve nümerik veriler arasındaki fark artmaktadır.

Grafiklerden elde edilen diğer bir sonuç ise, kesme kuvvetlerinin, kesici takımlara bağlı olarak değişimidir. Grafiklere bakıldığında, bütün kesme hızları için genel eğilim olarak, kaplamalı kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin, kaplamasız kesici takım ile yapılan kesme işleminden elde edilen sonuçlardan düşük olduğudur. Bu durumun oluşmasında birden fazla faktör rol oynamaktadır. Öncelikli olarak, kesici

takımın kaplama türüne ait sürtünme katsayısıdır. Takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının artması kesme esnasında meydana gelen asıl kesme kuvvetinin de artmasına neden olacaktır. Şekil 5.8 ve 5.9 da hem deneysel hemde nümerik olarak elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin  $Al_2O_3$  kaplı kesici takımında daha düşük elde edilmesinin nedeni sürtünme katsayısıdır. Çünkü  $Al_2O_3$  kaplamanın çelik ile teması esnasında ortaya çıkan sürtünme katsayısının 0,15 olduğu ifade edilmektedir.



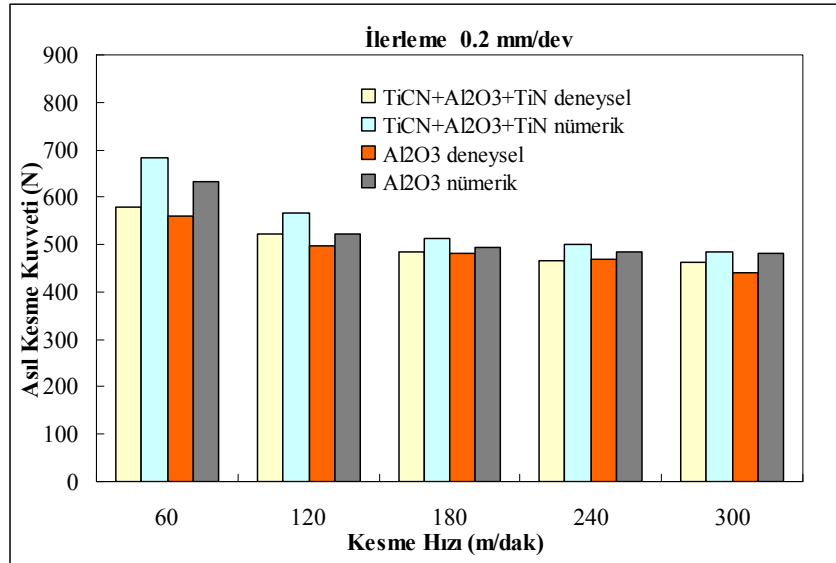
Şekil 5.7 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.8 Kaplamasız karbür ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.



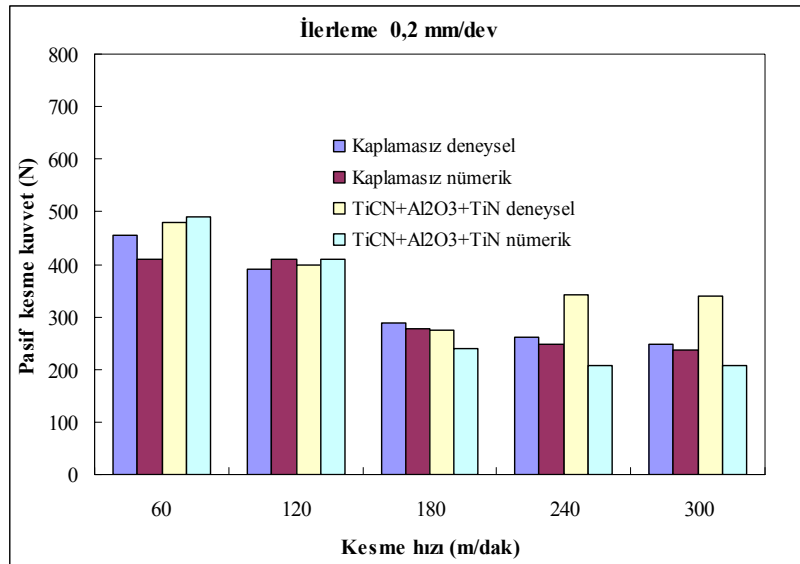
Bunun dışında kesme kuvvetlerindeki farklılığın diğer nedeni ise, kesme esnasında meydana gelen sıcaklığın olabileceği düşünülmektedir. Kaplama malzemelerinin kesme sıcaklığını artırıcı bir etkisi olduğu henüz bilinmemektedir (Rech, 2006). Fakat kaplama malzemelerinin sahip olduğu termal iletkenlik katsayısı, kaplamasız kesici takımın termal iletkenlik katsayısından düşük olması bu sonucu açıklayabilir. Çünkü özellikle TiN kaplamalı takım, kaplamasız takımla karşılaştırıldığında, oluşan ısının takım içine doğru yayılmasını (heat flux) geciktirmektedir (Rech ve Kusiak, 2004). Dolayısıyla oluşan sıcaklığın kesme bölgesinden daha geç uzaklaşması veya oluşan kesme sıcaklığının büyük ölçüde iş parçasına geçmesi kesme kuvvetlerinin azalmasına katkıda bulunabilir. Çünkü artan kesme sıcaklığının, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısını azalttığı (Moufki et al 1998), ayrıca iş parçasında termal yumuşamaya neden olduğu göz önüne alındığında, kesme kuvvetlerindeki azalmanın nedeni daha kolay anlaşılabilir olacaktır.



Şekil 5.9 TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

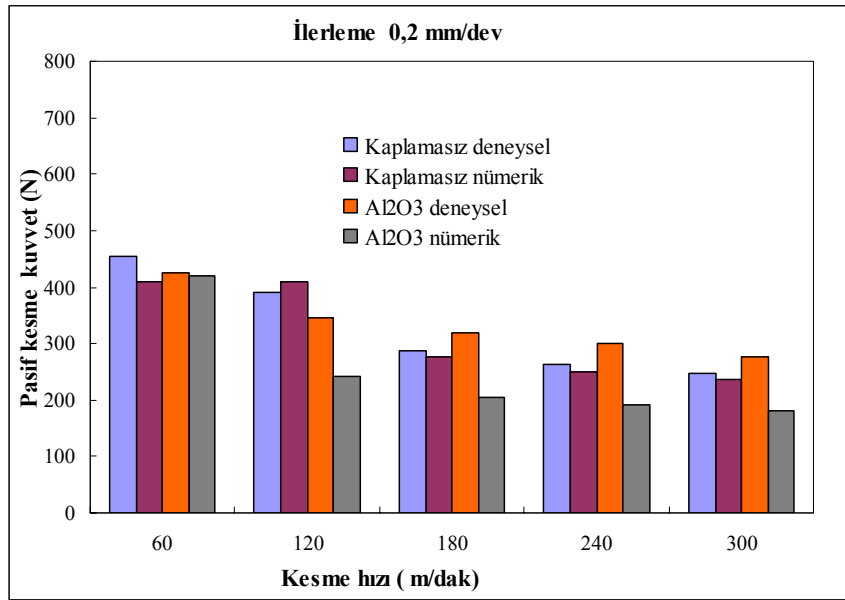
Deneysel ve nümerik çalışmalar neticesinde elde edilen pasif kuvvetlerin, kesme hızı ve kullanılan kesici takımlara göre değişimi Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de verilmiştir. Grafikte göze çarpan ilk sonuç, kesme hızının artmasıyla birlikte pasif kesme kuvvetlerinin de azaldığıdır. Bu sonuçlar ışığında bütün kesici takımlar için hem deneysel hem de nümerik sonuçlarda en büyük pasif kesme kuvveti, 60 m/dak kesme

hızında 400-500 N arasında değişen bir seyir izlemiştir. Buna karşılık en düşük pasif kesme kuvveti değeri ise, 300 m/dak. kesme hızında ve 150-300 N arasında bir değer almışlardır. Bu bağlamda kesme hızının 5 kat artmasıyla birlikte kuvvetler yaklaşık olarak % 50 oranında azalmaktadır. Grafiklerde göze çarpan bir diğer sonuç ise; Deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki makul seviyedeki uyumdur. Bu doğrultuda en kötü yakınsama, 240 m/dak kesme hızında TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takım için elde edilen sonuçlarda yaklaşık olarak % 70 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama ise; 60 m/dak. kesme hızında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımda elde edilen sonuçlarda % 97 seviyesindedir. Literatürdeki bazı çalışmalara bakıldığında ise genel olarak pasif kuvvetlere ait deneysel ve nümerik sonuçlar arasında belirgin bir farkın olduğu görülmektedir (Ozel 2004). Nümerik çözümlerde kullanılan sürtünme modeli özellikle pasif kuvvetlerin tayin edilmesi noktasında yetersiz kalmaktadır. Çünkü kullanılan modele göre; kesme işlemi esnasında takım-talaş yüzeyine etkileyen sürtünme gerilmelerinin sabit olduğu varsayılmaktadır. Oysa gerçek kesme koşullarında bu durum değişkenlik gösterebilmektedir. Sonuçlarda dikkat çeken diğer bir nokta ise, kullanılan kesici takımlara bağlı olarak pasif kuvvetlerdeki değişimdir. En düşük pasif kesme kuvvetleri, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde gerçekleşmiştir. Buna karşılık en büyük pasif kesme kuvveti ise, WC ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde görülmektedir.



Şekil 5.10. Kaplamasız karbür ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

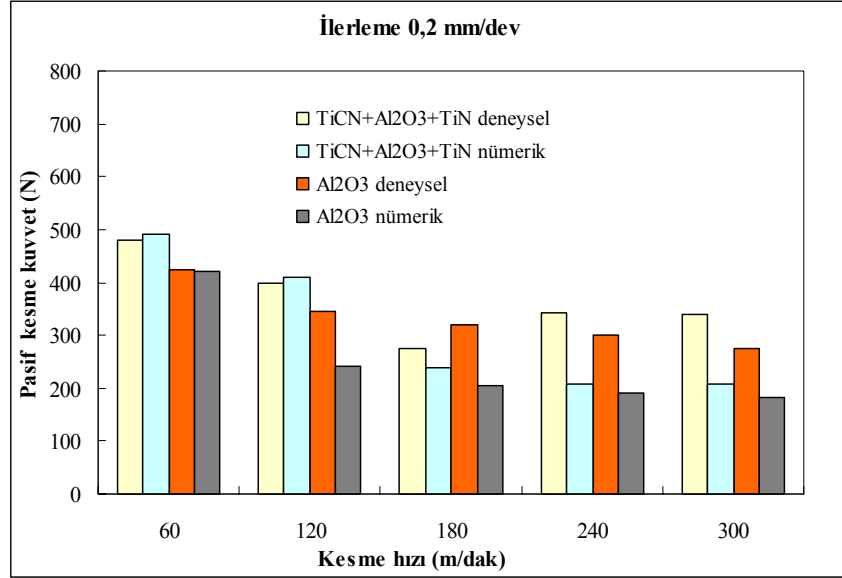
Nümerik modelleme işleminde tüm kesici takımlar için sabit bir kayma sürtünme faktörü kullanılmıştır. Kullanılan kayma sürtünme faktörüne bağlı olarak tüm kesme hızlarında kaplamasız kesici kesici takım için elde edilen deneysel ve nümerik sonuçlar birbirine oldukça yakın elde edilmiştir. Buna karşın her iki kaplamalı takım için yüksek kesme hızlarında ( $V \geq 180\text{m/dak.}$ ) elde edilen nümerik veriler ile deneysel veriler arasındaki fark artmaktadır (Şekil 5.12). Ortaya çıkan bu fark ise takım yüzeyine uygulanan kaplama ile takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Fakat bu çalışma kapsamında elde edilen pasif kesme kuvvetleri literatürde yayınlanmış bir çalışmada (Özel 2003). elde edilen sonuçlardan daha kabul edilebilir olduğu görülmüştür.



Şekil 5.11 Kaplamasız karbür ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.12 de her iki kaplanmış kesici takım için elde edilen pasif kesme kuvvetlerinin birbirleriyle karşılaştırılması verilmiştir. 180m/dak dan daha küçük olan kesme hızlarında  $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$  kaplı kesici takım için elde edilen deneysel ve nümerik veriler birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Artan kesme hızına bağlı olarak şekil değiştirme hızı da artmaktadır. Yüksek şekil değiştirme hızlarında takım-talaş ara

yüzeyindeki sürtünme şartları da değişmektedir (Özel 2003). Takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme şartları da en çok pasif kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Eğer Şekil 5.9 ile 5.12 beraber değerlendirilirse, yüksek kesme hızlarında nümerik ile deneysel pasif kesme kuvvetler arasındaki fark artmaktadır.

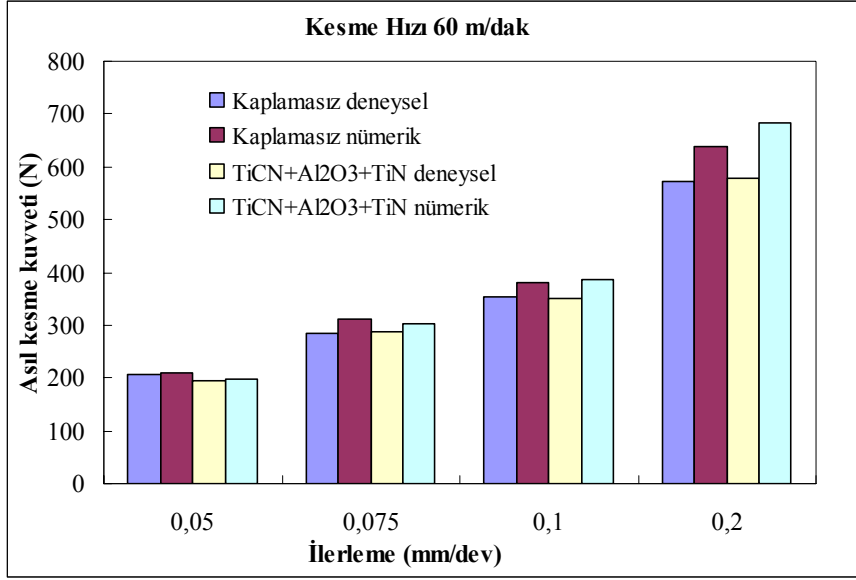


Şekil 5.12 TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde Pasif kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

### 5.2.2 İlerleme Hızının Etkisi

Deneysel ve nümerik çalışmalar sonucunda ilerleme hızının asıl kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ilk dikkat çeken sonuç, ilerleme hızındaki artışla birlikte kesme hızının da artmasıdır. 60 m/dak kesme hızında yapılan değerlendirmede, en küçük kesme kuvveti değeri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla 0,05 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 170 N olarak görülmüştür. Buna mukabil en büyük kesme kuvveti değeri ise, WC kesici takımla 0,2 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık 575 N olarak tespit edilmiştir. İlerleme hızındaki artışın kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımda daha net bir şekilde görülmektedir. Şöyleki, ilerleme hızındaki % 100’ lük bir artışla birlikte kesme

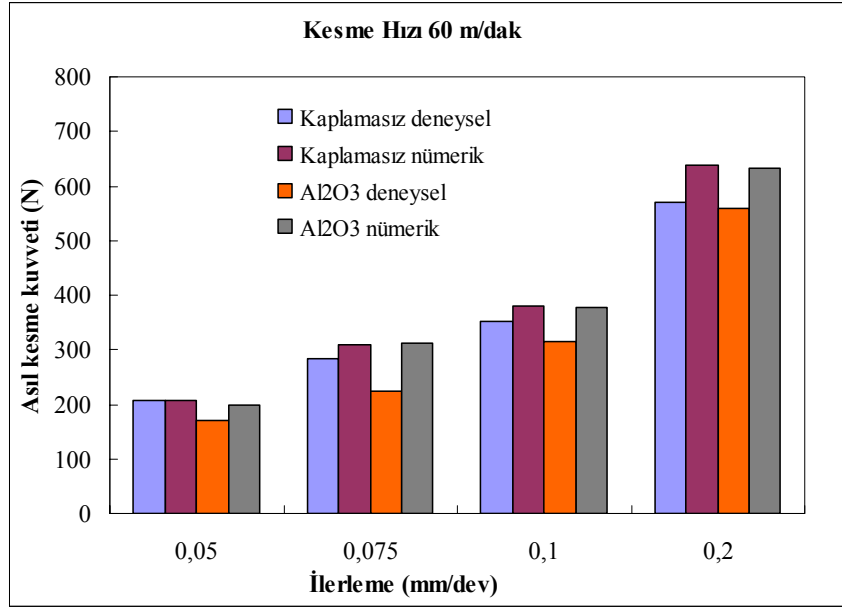
kuvvetleri yaklaşık olarak % 75-85 oranında artarken, buna karşılık diğer iki kesici takım ile yapılan kesme işleminde bu oran % 60-70 arasında görülmektedir.



Şekil 5.13 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi

İlerleme hızı kesme işleminin karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden birisidir. İlerleme hızı kesme işlemi esnasında kesici takımın birim zamanda kaldırmaya çalıştığı talaş kesitini doğrudan etkilemektedir. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı da büyümekte (Lima at al, 2005) ve kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetleri artmaktadır. Grafiklerde elde edilen diğer bir sonuç ise, deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki uyumdur. Özellikle WC ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımdan elde edilen sonuçlar arasındaki uyum bütün ilerleme hızlarında mükemmelere yakın düzeydedir. Fakat ilerleme hızındaki artışla birlikte bir miktar farkın arttığı görülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımdan elde edilen verilerde sonuçlarda ise, daha istikrarlı bir sonucun olduğu görülmektedir. Minimum ve maksimum ilerleme hızlarında deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki sapma yaklaşık % 4'tür. Buna rağmen bütün kesici takımlar gözönüne alındığında, en kötü şartlarda deneysel ve nümerik sonuçlar arasında % 80'lik bir uyumun olduğu görülmektedir. En iyi uyum ise, WC ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takım ile 0,05 mm/dev ilerleme hızında yaklaşık olarak % 99' luk bir

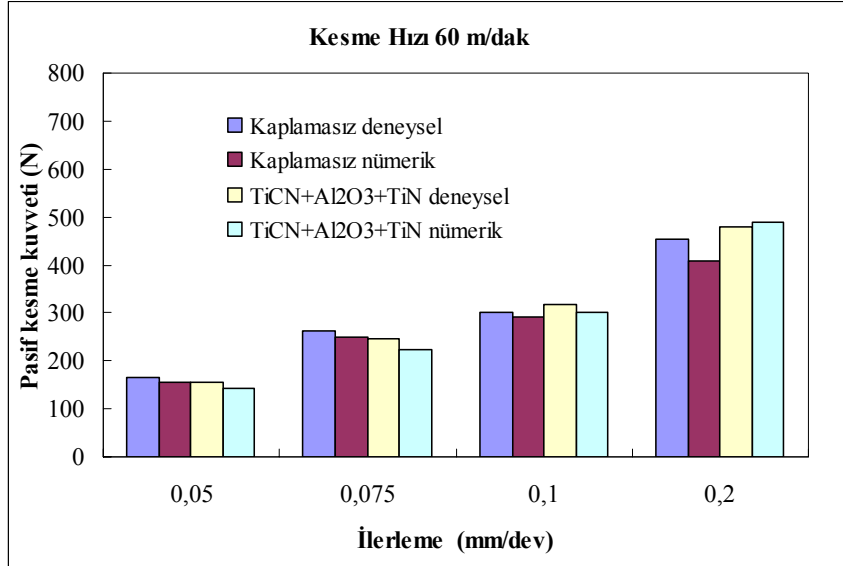
uyum söz konusudur. En düşük kesme kuvvetleri  $Al_2O_3$  kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde elde edilirken, en büyük kesme kuvvetleri ise, WC kaplamasız kesici takımla yapılan kesme işleminde görülmüştür. Bu durum kaplama malzemesinin termal özelliklerinden kaynaklanan bir durum olabileceği literatürde bazı çalışmalarda vurgulanmıştır (Rech and Kusiak, 2004).



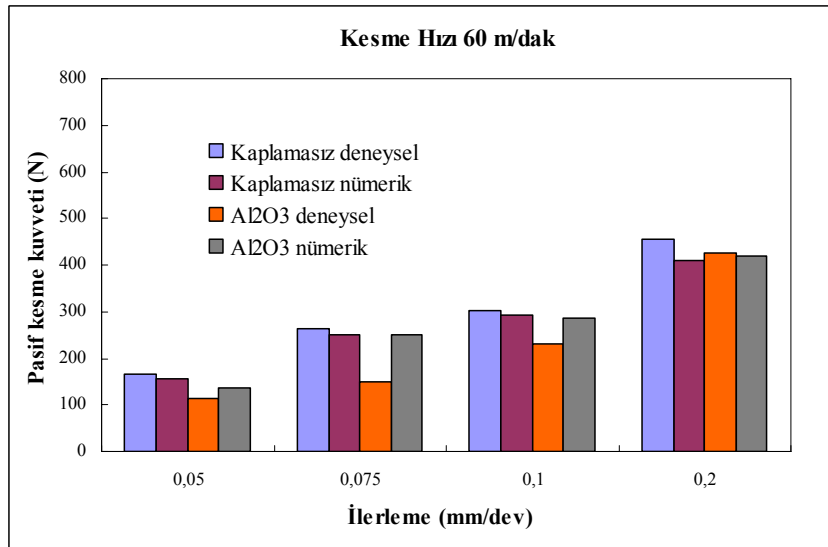
Şekil 5.14. Kaplamasız karbür ve  $Al_2O_3$  kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi

Elde edilen bir diğer sonuç ise, ilerleme hızının pasif kuvvetler üzerindeki etkisi Şekil 5.15 ve 5.16 da verilmiştir. Burada da genel eğilim asıl kesme kuvvetlerinde olduğu gibi ilerleme hızının artmasıyla birlikte kuvvetlerin arttığı yönündedir. Bütün kesici takımlar için bu artış lineer bir şekilde gerçekleşmiştir. En küçük pasif kuvvet 0,05 mm/dev ilerleme hızında  $Al_2O_3$  kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde 110 N olarak görülürken, buna karşılık en büyük kuvvet ise;  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımla 0,2 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde 475 N olarak elde edilmiştir. Sonuçlarda bir başka nokta ise, deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki uyumdur. Özellikle kaplamasız karbür ve  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımla her bir ilerleme hızı için yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda, % 90' a varan bir yakınsamanın olduğu görülmektedir. Bu sonuç oldukça tatmin edicidir.  $Al_2O_3$  kaplamalı

kesici takımınla yapılan kesme işleminde ise; deneysel ve nümerik sonuçlar arasında nispeten fazla bir farkın olduğu görülmektedir. Buna rağmen en düşük yakınsama % 73 olarak görülmektedir. Literatürdeki benzer çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslandığında pasif kuvvetler için makul bir sonuç olduğu anlaşılmaktadır (Özel 2003).



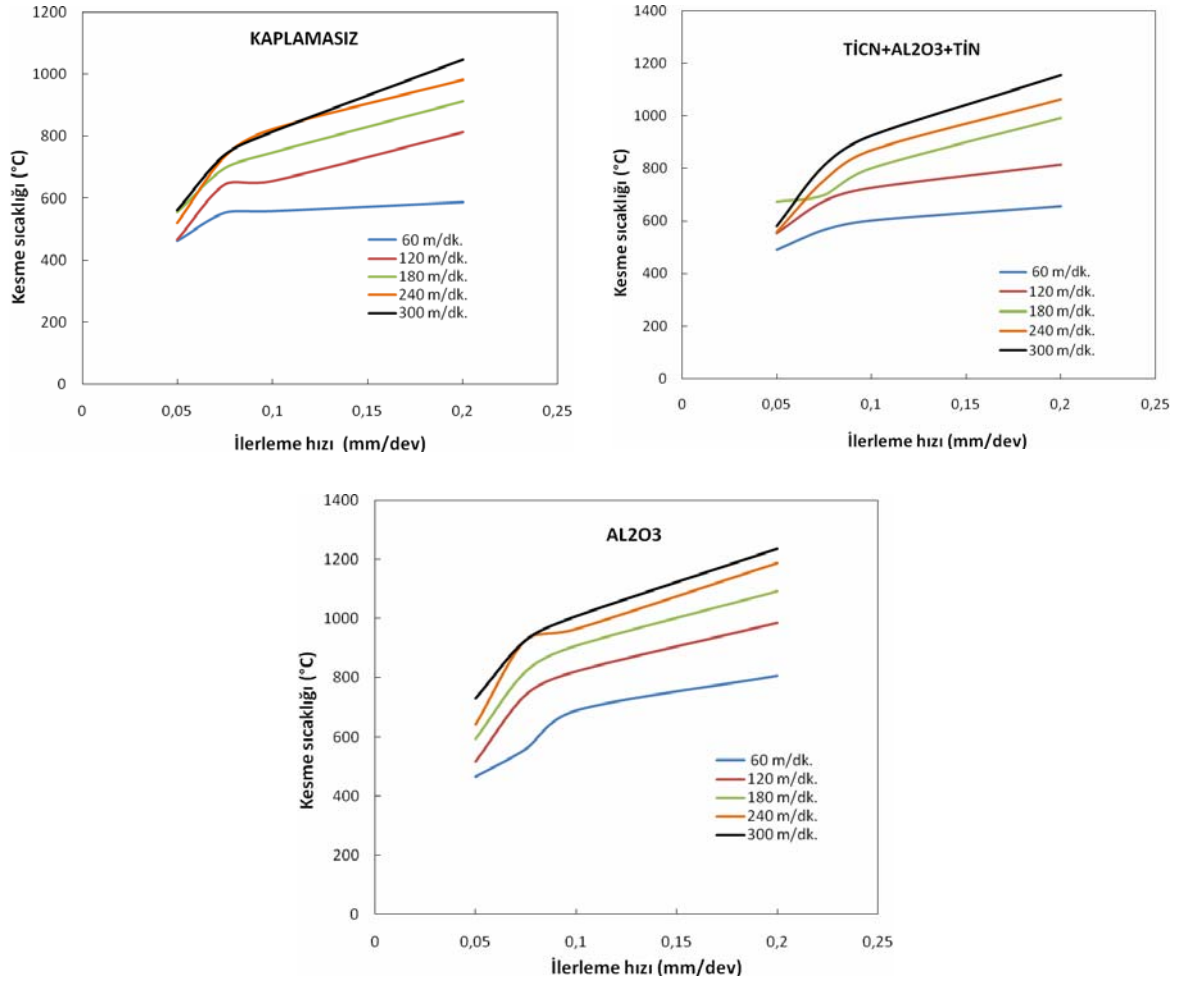
Şekil 5.15. Kaplamasız karbür ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için elde edilen pasif kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 5.16. Kaplamasız karbür ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takım için elde edilen pasif kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi

### 5.3 Kesme Sıcaklığının Değişimi

Deneysel ve nümerik sonuçlar arasında yapılan değerlendirmeye birlikte kullanılan malzeme modelinin doğruluğu kanıtlandıktan sonra, kesme esnasında talaş kaldırma parametrelerine ve kullanılan kesici takıma bağlı olarak meydana gelen kesme sıcaklıkları Şekil 5.17 de verilmiştir. Sonuçlarda dikkati çeken ilk unsur ilerleme hızındaki artışla paralel olarak kesme sıcaklığının artmasıdır. Bu doğrultuda en düşük sıcaklık 0,05 mm/dev ilerleme hızında görülürken maksimum sıcaklık ise, 0,2 mm/dev ilerleme hızında görülmektedir.



Şekil 5.17 İlerleme hızına bağlı olarak takım üzerinde oluşan kesme sıcaklığının değişimi



Kesme işlemi esnasında sıcaklığı etkileyen farklı ısı kaynakları vardır. Bunlar; öncelikli olarak birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen plastik deformasyondur. İkinci olarak, ikinci deformasyon bölgesinde meydana gelen sürtünme ve plastik deformasyonla oluşan ısı enerjisi ve son olarak ise, kesici takımın yan yüzeyinin iş parçasıyla temas ettiği üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılan bölgede oluşan ısı enerjisidir (Reck 2006), (Abukhshim at al. 2006). Özellikle ilerleme hızının artması birinci deformasyon bölgesindeki kayma yüzey alanını artırmakta ve dolayısıyla talaş yüzeyden koparmak için daha fazla bir enerji sarf edilmesi gerekmekte ve harcanan bu enerjinin sonucunda daha fazla ısı açığa çıkmaktadır. Ayrıca talaş kesitindeki artışla birlikte ikinci deformasyon bölgesinde, takım-talaş ara yüzünde sürtünme artmakta dolayısıyla kesme sıcaklığını da etkilemektedir. Grafiklerden elde edilen diğer bir sonuç ise, kesme hızının kesme sıcaklığı üzerindeki etkisidir. Bilindiği üzere kesme hızıyla sıcaklık değişimi doğru orantılıdır. Yani kesme hızının artmasıyla sıcaklıkta artmaktadır (Kitagawa at al. 1997), (Ng at al 1999). Bir başka husus ise; kullanılan kesici takıma bağlı olarak sıcaklık değerlerindeki değişimdir. Bu konuda dikkat çeken ilk nokta kaplamalı kesici takımlarla yapılan kesme işleminde oluşan sıcaklık kaplamasız kesici takımla yapılan kesme işlemine nazaran daha fazla olmasıdır. Bilindiği üzere kesme işlemi sırasında meydana gelen sıcaklığın büyük bir bölümü talaşla kesme bölgesinden uzaklaştırılmakta bir kısmı ise kesici takıma ve iş parçasına doğru yayılmaktadır. Kaplamalı kesici takımlarda kullanılan kaplama malzemelerinin WC kesici takıma nazaran termal iletkenlik katsayılarının düşük olması oluşan sıcaklığı kesme bölgesinden daha az uzaklaştırmaktadırlar. Özellikle TiN kaplama, kaplamasız takımla karşılaştırıldığında oluşan ısının takım içine doğru yayılmasını (heat flux) geciktirmektedir (Rech and Kusiak 2004). Dolayısıyla kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar arasında kesme sıcaklığının değerlendirilmesi noktasında böyle bir fark doğmaktadır. Kesme kuvvetlerinde elde edilen sonuçlarda bu durumu desteklemektedir. Çünkü yüksek sıcaklığa bağlı olarak kaplamalı kesici takımlarda kesme kuvvetleri nispeten düşük değer vermiştir (Şekil 5.7). Bu doğrultuda 300 m/dak kesme hızında ve 0.2 mm/dev ilerleme hızında yapılan bir değerlendirmede maximum kesme sıcaklığı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 1230°C olarak görülürken, minimum kesme sıcaklığı ise, kaplamasız kesici takımla yaklaşık olarak 1060°C olarak elde edilmiştir. Kesme sıcaklığı takım ömrünü olumsuz etkileyen

unsurlardan birisidir. Bu yüzden kesme işleminde oluşan yüksek sıcaklık takımın daha çabuk deforme olmasını sağlamaktadır. Fakat kullanılan kaplamalı kesici takımlarda sıcaklığın yüksek olmasına rağmen aşınma direnci noktasında sağladığı yüksek dayanım aradaki bu sıcaklık farkını domine etmektedir.

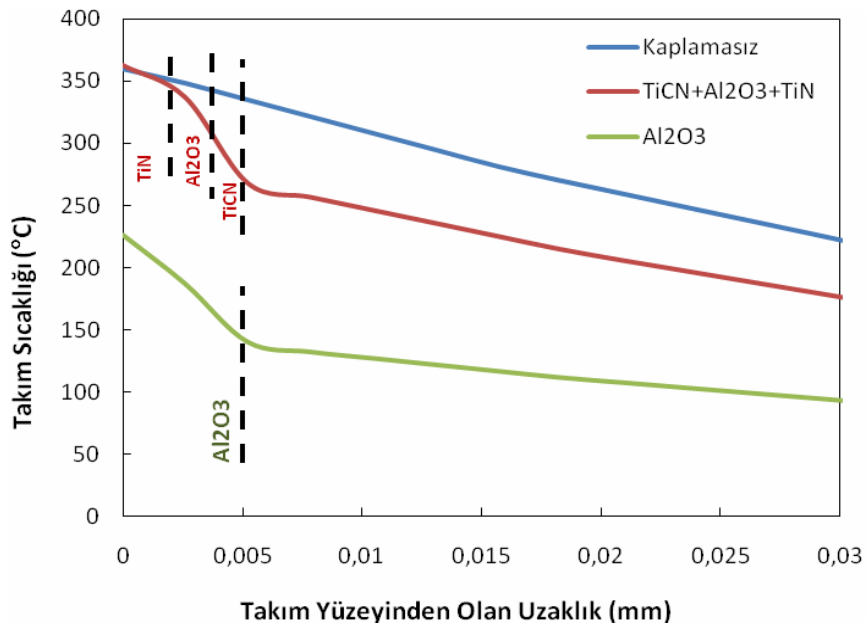
#### 5.4 Takım Sıcaklığının Değişimi

Bilindiği üzere kesme sırasında meydana gelen kesme sıcaklığının büyük çoğunluğu talaş ile uzaklaştırılmaktadır. Dolayısıyla takımın meydana gelen kesme sıcaklığı kesme sıcaklığına nazaran çok daha düşüktür. Kesici takımın meydana gelen sıcaklık, özellikle takımın sıcak sertlik özelliğini etkilemektedir. Bu nedenle kesici takıma geçen ısı miktarının azaltılmasına yönelik kaplamalar yapılır. Bu tür kaplamaların en önemli özelliklerinden biri de ısıl iletkenlik katsayılarının düşük olması. Böylece kesme esnasında meydana gelen ısı kesici takıma daha az iletilerek talaşla uzaklaştırılmış olur.

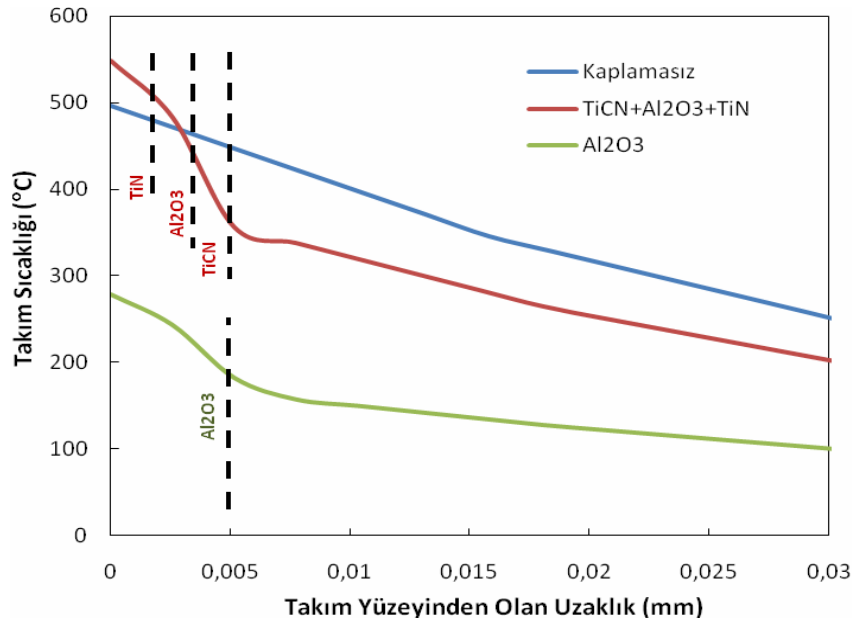
Şekil 5.18 ve 5.19’da kesme esnasında kaplanmış ve kaplanmamış kesici takımlarda meydana gelen sıcaklığın derinliğe bağlı olarak değişimi verilmiştir. Dikkat edilecek olursa, kaplanmamış kesici takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklık derinliğe bağlı olarak lineer bir azalma eğilimi göstermektedir. Buna karşın kaplanmış takımlarda kesici takım yüzeyinden derinlere inildikçe kesme sıcaklığı ani bir düşüş eğilimi göstermektedir. Özellikle  $Al_2O_3$  kaplı kesici takım yüzeyinde elde edilen maksimum sıcaklık kaplamasız ve  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplı kesici takıma nazaran %50 daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni  $Al_2O_3$  kaplamasının  $TiN$  kaplamasına nazaran daha düşük termal iletkenlik katsayısına sahip olmasıdır (Yen et al, 2004). Dolayısıyla kesme esnasında meydana gelen ısı, karbür kesici takıma nazaran daha düşük termal iletkenlik katsayısına sahip kaplama vasıtasıyla büyük çoğunlukla talaşa iletilmektedir.

Kesme hızının artmasıyla birlikte şekil değiştirme hızı artmakta ve buna bağlı olarak kesme anında meydana gelen kesme sıcaklığı artmaktadır. Özellikle birinci ve ikinci deformasyon bölgelerindeki kesme sıcaklığının artması, takımın daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına neden olmaktadır. Şekil 5.19 da 300m/dak kesme hızında

her bir takımında meydana gelen sıcaklığın derinlik boyunca değişimi verilmiştir. Şekil 5.18 ve 5.19 beraber değerlendirildiğinde, kesme hızının %60 artmasıyla maksimum sıcaklık değeri kaplamasız kesici takımında %38,  $Al_2O_3$  kaplamalı kesici takımında %22 ve  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımında %52 oranında artmaktadır. Bununla birlikte her iki grafikte dikkati çeken bir unsurda kaplamasız ve  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takım yüzeyinde elde edilen sıcaklıktaki farktır. 180m/dak'lık kesme hızında  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı ve kaplamasız takım yüzeylerinde meydana gelen maksimum sıcaklık değerleri birbirine oldukça yakındır. Artan kesme hızıyla birlikte,  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takım yüzeyinde meydana gelen maksimum sıcaklık kaplamasız oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Benzer bir eğilim ise AISI 1045 malzemenin işlenmesinde elde edilmiştir (Yen et al. 2004).  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımındaki ara kaplama olan  $Al_2O_3$  in termal iletkenlik katsayısı artan sıcaklıkla beraber düşmektedir (Yen et al. 2004). Bunu da Şekil 5.18 ve 5.19 da verilen toplam kaplama kalınlığındaki sıcaklık verileri karşılaştırılarak tespit etmek mümkündür. Şöyleki;  $V = 180m/dak$ lık kesme hızında,  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takım için takım yüzeyinden toplam kaplama kalınlığının bittiği derinliğe kadarki noktada sıcaklık değişimi %35 iken, bu değer  $V = 300m/dak$ 'da %53 olarak gerçekleşmiştir.

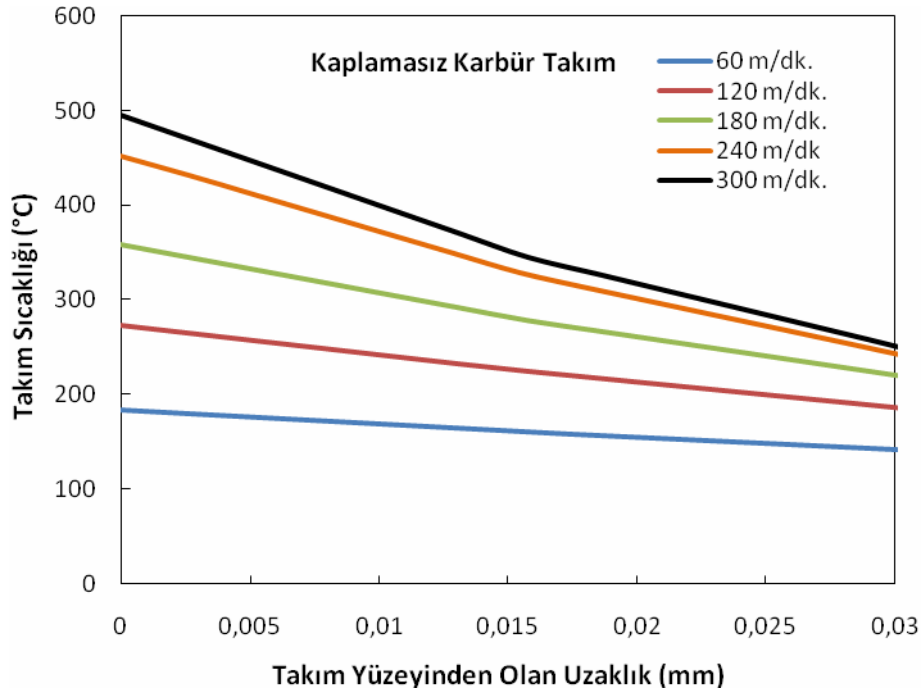


Şekil 5.18 180 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi

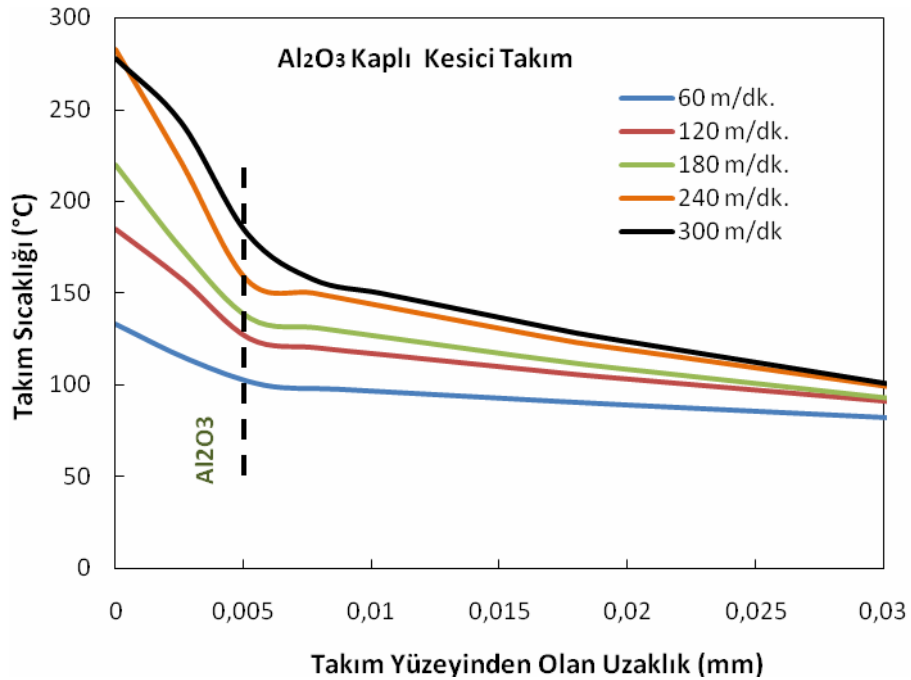


Şekil 5.19 300 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi.

Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22 de çalışma kapsamında kullanılan her üç kesici takımda meydana gelen sıcaklık değerlerinin kesme hızlarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Her üç grafikte de ortak olan sonuç; artan kesme hızına bağlı olarak takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değerlerinin de arttığıdır. Dikkat edilecek olursa, kaplamasız karbür takımda takım yüzeyinden derinlere inildikçe sıcaklık lineer olarak azalmaktadır. Oysaki Şekil 5.21 ve 5.22’de toplam kaplama kalınlığı boyunca sıcaklık ciddi oranda düşüş göstermektedir. Özellikle Şekil 5.21’e dikkat edilecek olursa, artan kesme hızıyla birlikte kaplama bölgesindeki sıcaklık düşüşündeki eğim de artmaktadır. Bir anlamda bu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama malzemesinin termal iletkenliğinin artan sıcaklıkla azaldığının bir göstergesidir.

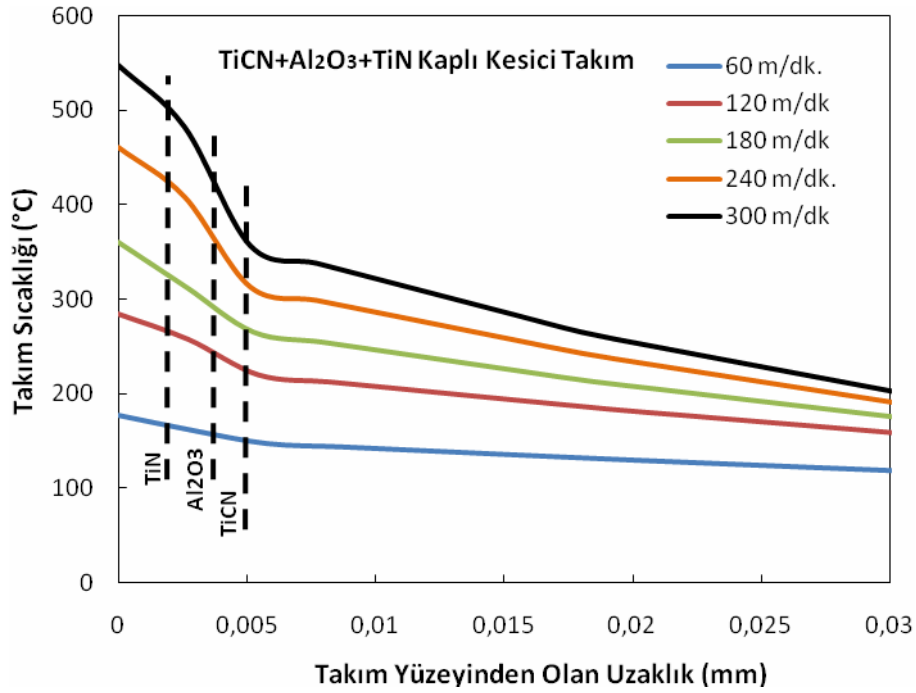


Şekil 5.20 Farklı kesme hazlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi



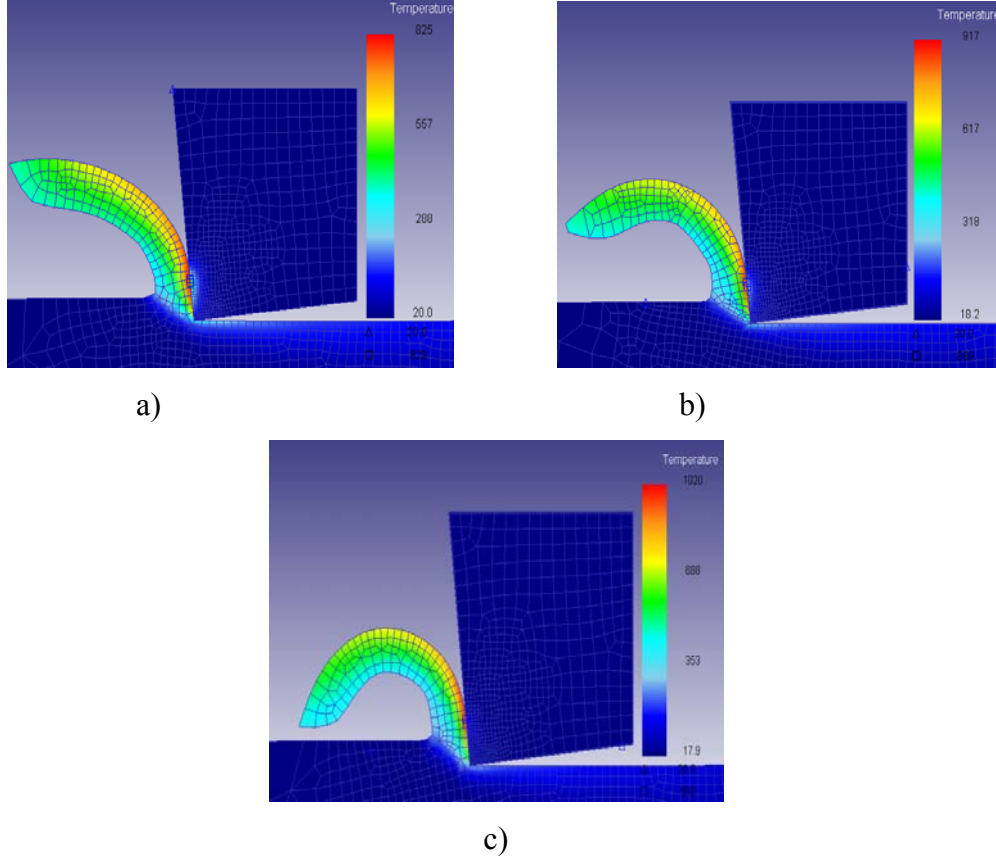
Şekil 5.21 Farklı kesme hazlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi

Çok kaplamalı kesici takım olarak kullanılan TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın derinliğe bağlı değişimi kaplamasız (Şekil 5.20) ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı (Şekil 5.21) kesici takıma nazaran bir miktar farklılık göstermektedir (Şekil 5.22). Dikkat edilecek olursa,  $V \geq 240$  m/dak kesme hızlarında her üç kaplamanın etkisi de daha net olarak görülmektedir. Oysaki daha düşük olan kesme hızlarında her üç kaplama malzemesi bir bütün olarak takım sıcaklığının düşüşüne katkıda bulunmaktadır.



Şekil 5.22 Farklı kesme hızlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi

Şekil 5. 23'te kaplanmış ve kaplanmamış kesici takımlara ait sıcaklık dağılımları verilmektedir. Şekil 5.23-a'da verilen kesme işlemi kaplamasız kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Dikkate edilecek olursa bu kesici takıma etkiyen sıcaklık takım yüzeyinden daha geniş bir alana yayılmaktadır. Oysaki Şekil 5.23-b ve 5.23-c'de kaplamalı kesici takımların yüzeyindeki sıcaklık dağılımları oldukça küçük bir alanda etkili olmaktadır. Özellikle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takım yüzeyindeki sıcaklık değerleri oldukça düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Kaplamanın etkisiyle kesici takıma olan ısı akışı daha az düzeyde gerçekleşmekte ve maksimum sıcaklık talaşın kendisinde gerçekleşmektedir.



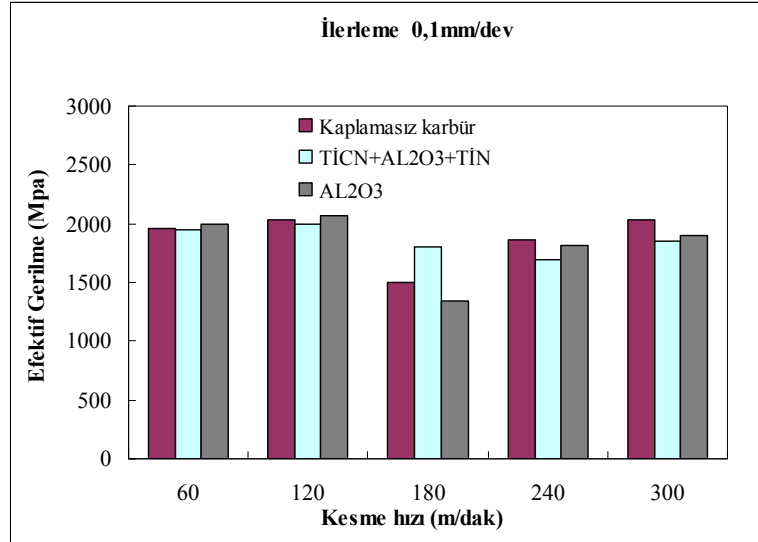
Şekil 5.23 Nümerik modellemede 240 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan sıcaklığın kesici takım üzerine dağılımı

a) Kaplamasız b) TiCN+AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN c) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

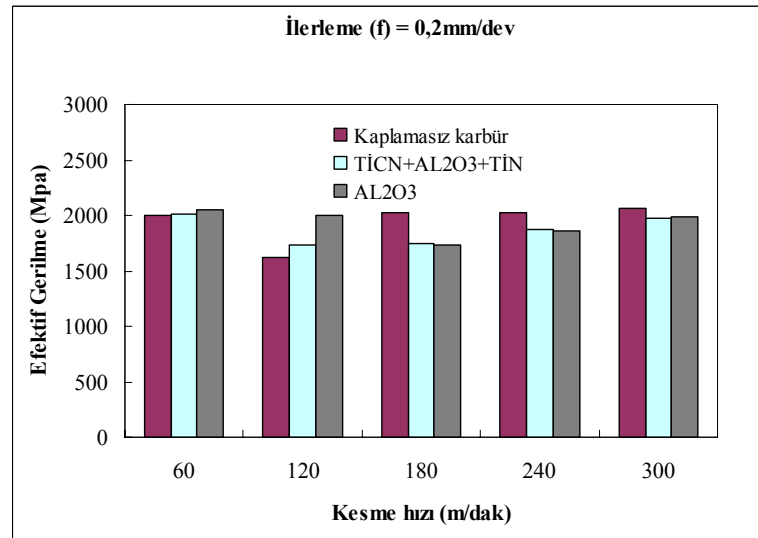
### 5.5 Takım Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler

Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen bir diğer sonuç ise, kesici takım da meydana gelen gerilme değerleridir. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 de verilen grafiklerde kesme hızı, ilerleme hızı ve kullanılan kesici takımlara bağlı olarak gerilme değerlerindeki değişim verilmiştir. İlk dikkat çeken nokta kesme hızındaki artışla birlikte takım üzerinde meydana gelen gerilmelerin özellikle düşük kesme hızlarında (60-180 m/dak) düştüğü yönündedir. 180 m/dak kesme hızından sonra genel olarak bütün kesici takımlarda gerilme değerlerinin arttığı görülmektedir. Diğer bir sonuç ise, ilerleme hızındaki artışla birlikte gerilmelerin genel olarak arttığı yönündedir. Fakat sonuçlar doğrusal olmayan bir şekilde gerçekleşmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda bu konuya vurgu yapılmıştır (Altan et al 2007). Elde edilen grafiklerdeki en net sonuç, kaplamalı ve

kaplamasız kesici takımlar arasındaki farktır. Kaplamasız kesici takım ile yapılan kesme işleminde daha fazla gerilmenin olduğu görülmektedir. Aslında elde edilen bu sonuçlar önceki grafiklerle benzer karakteristiktir. Şekil 5.24 ve 5.25 beraber değerlendirildiğinde de kesme işlemi esnasında kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve oluşan efektif gerilmelerin birbiriyle ilişki içinde olduğu görülmektedir.



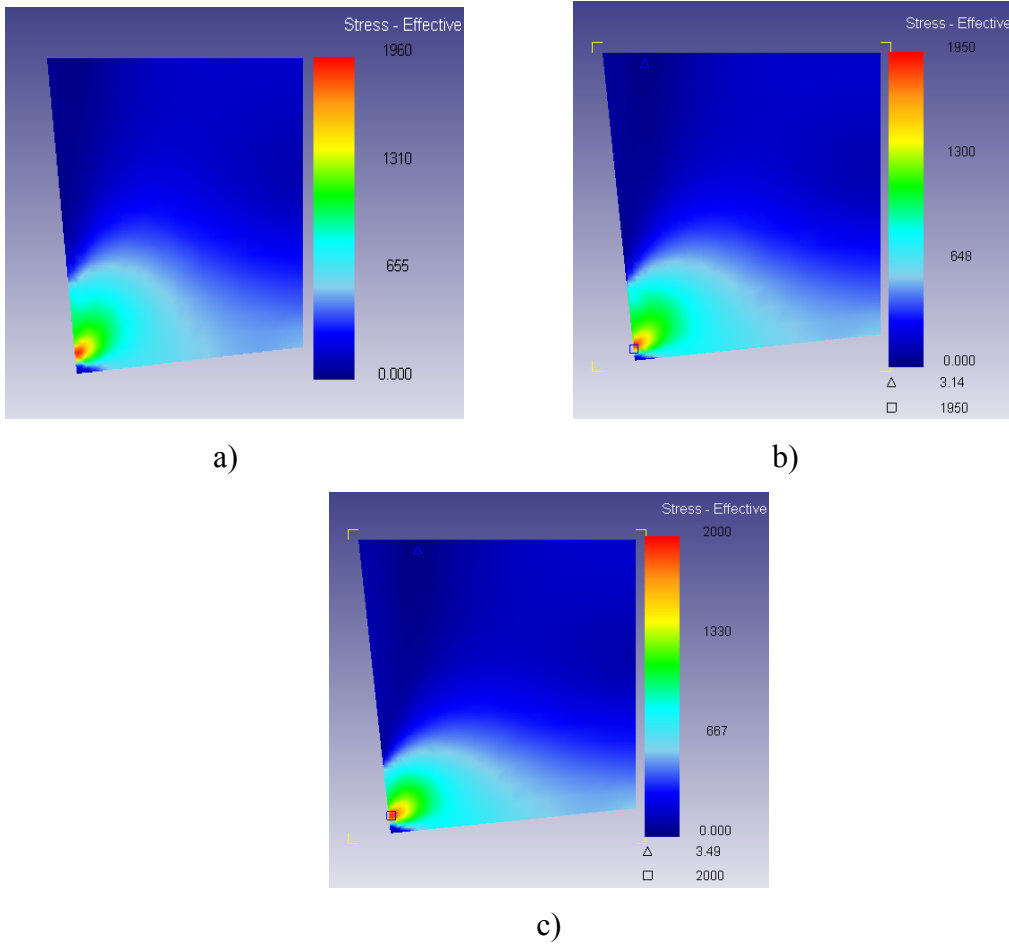
Şekil 5.24 Kaplamasız karbür ve TiCN+AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN, AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takım ile 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme hızının gerilme üzerindeki etkisi.



Şekil 5.25 Kaplamasız karbür kesici ve TiCN+AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN, AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takım ile 0,2 mm/dev ilerleme hızında kesme hızının gerilme üzerindeki etkisi.



Kesici takımında meydana gelen gerilmenin dağılımını deneysel olarak tespit etmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle nümerik çözüm yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar takım tasarımcısına ön fikir vermektedir. Bu çalışmada takım yüzeyine etkiyen efektif gerilme dağılımı farklı takım türleri için Şekil 5.26 da verilmektedir. Her üç takımında elde edilen gerilme dağılımı birbiriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 5.26'dan da görüldüğü üzere maksimum gerilmeler yüzeyin altından meydana gelmektedir. Ayrıca maximum gerilme  $Al_2O_3$  kaplamalı takım meydana gelirken, en düşük gerilme  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  kaplamalı kesici takımında meydana gelmektedir.



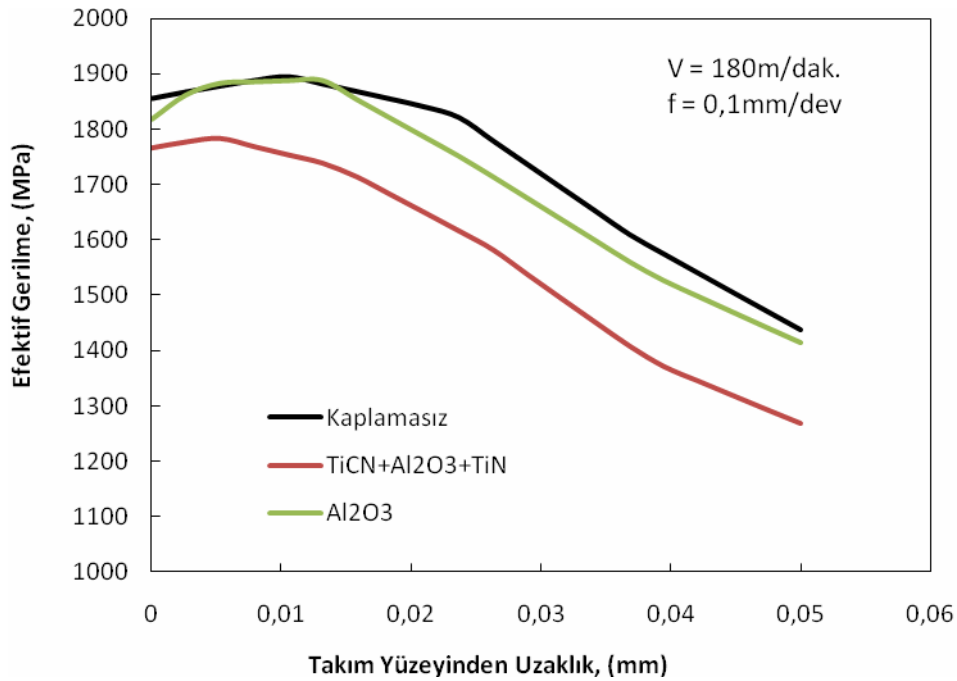
Şekil 5.26 180 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımında meydana gelen efektif gerilme dağılımları

a)Kaplamasız, b)  $TiCN+Al_2O_3+TiN$  c)  $Al_2O_3$

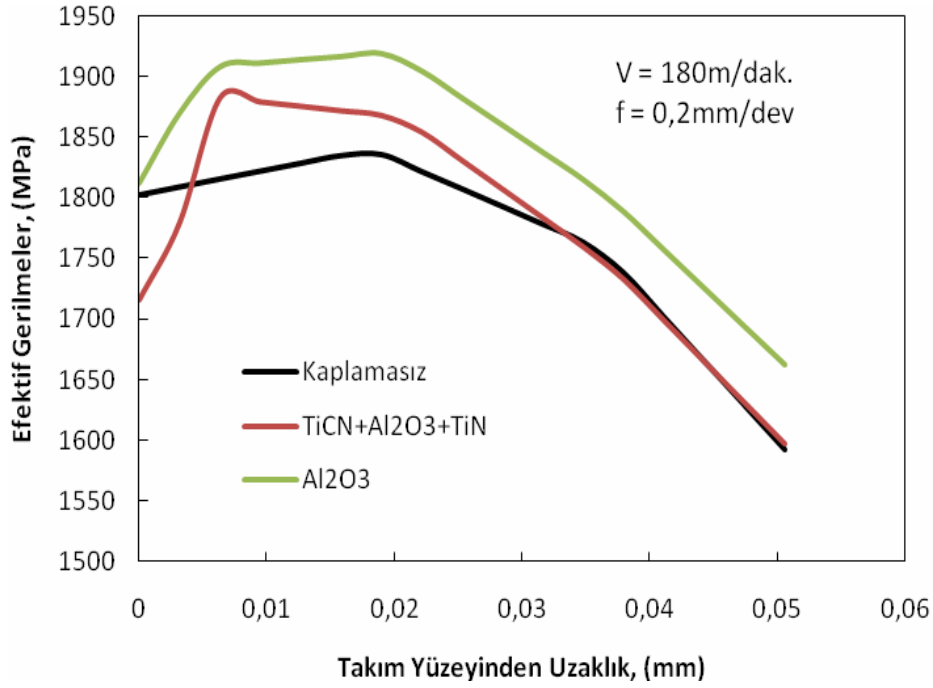
Çalışma kapsamında kullanılan kesici takımlar için elde edilen gerilme değerlerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29 da verilmektedir. Her üç

grafikten görüldüğü üzere maksimum gerilme değeri yüzeyde değil, yüzeyden 0,01 ile 0.015mm derinlikte meydana gelmektedir. Temas mekaniği problemlerinde, efektif gerilmelerin derinliğe bağlı olarak değişimi birçok çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmaların ortak noktası ise efektif gerilmelerin yüzeye yakın fakat yüzeyin altında bir noktada meydana geldiği saptanmıştır.

Şekil 5.27’de dikkati çeken bir nokta kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyinde meydana gelen gerilmeler arasında ciddi bir farkın olmadığıdır. Buna karşın maksimum gerilmeler 0,01mm derinliğinde kaplamasız ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı kesici takımda meydana gelmektedir. Her üç kesici takım için de kaplama kalınlığı boyunca gerilme değeri artmaktadır. Benzer bir durum 10 mikron kaplama kalınlığındaki kesici takım için yapılan nümerik çözümlerde elde edilmiştir (Yen et al 2004). Bunun da nedeni her kaplama malzemesinin farklı termal genleşme katsayısına sahip olmasıdır. Çünkü takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın etkisi ile hem kaplama malzemesi hem de karbür takım farklı şekilde genleşmeye çalışacaktır.

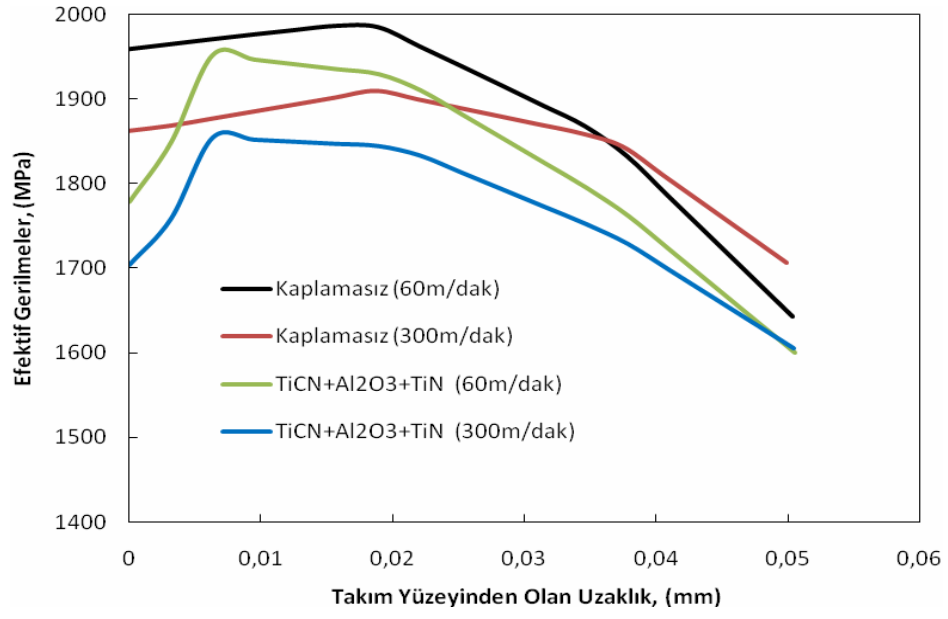


Şekil 5.27 Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.



Şekil 5.28 Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.

Kesme hızının takım gerilmeleri üzerindeki etkisini ortaya koymak açısından yapılan çalışmada kaplamasız ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplı kesici takım için iki farklı kesme hızı referans alınmıştır (Şekil 5.29). Şekilde dikkati çeken ilk nokta, kesme hızının artmasıyla birlikte hem kaplamasız hem de TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımdaki efektif gerilmelerin azalmasıdır. Bununla birlikte kesme hızının artmasıyla birlikte, kesici takıma etkiyen kesme kuvvetleri azalmaktadır (Şekil 5.1-5.6). Kesme kuvvetlerinin azalmasıyla birlikte, kesici takımda meydana gelen gerilme değeri de azalmaktadır.



Şekil 5.29 Kaplamalı ve kaplamsız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada AISI 4340 çeliğinin kaplamasız ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla işlenebilirliği modellenmiştir. Kesme kuvvetlerinin deneysel olarak tespiti yapılmış daha sonra literatürde sıklıkla kullanılan Johnson-Cook akma gerilmesi modeli kullanılarak elde edilen nümerik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Kesme hızındaki %100' lük bir artışla birlikte bütün kesici takımlar için, asıl kesme kuvvetleri yaklaşık %10–20 oranında azalmakta ve kesme hızındaki artışla doğru orantılı bir biçimde kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Deneysel olarak yapılan çalışmada maksimum kesme kuvveti değeri, 60 m/dak kesme hızında ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 580 N olarak görülmüştür. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 300 m/dak kesme hızında ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımda yaklaşık olarak 440 N olarak görülmektedir.

Deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında bütün kesme hızları ve kaplama türleri ile yapılan kesme işlemlerinde, deneysel ve nümerik sonuçlar arasında genel anlamda bir uyumun olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, en düşük yakınsama TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımla, 60 m/dak kesme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık % 87 olarak görülürken, buna karşılık en iyi yakınsama ise 300 m/dak kesme hızında yaklaşık olarak % 97 olmuştur. Kullanılan diğer kesici takımlardan elde edilen değerlerde, yaklaşık olarak bu oranlar arasında değişmektedir. Kesme kuvvetleri, kesici takımlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bütün kesme hızları için kaplamalı kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin, kaplamasız kesici takımla yapılan kesme işleminden elde edilen sonuçlardan düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Bütün kesici takımlar için hem deneysel hem de nümerik sonuçlarda maksimum pasif kesme kuvveti 60 m/dak kesme hızında 400-500 N arasında değişen bir seyir izlemiştir. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 300 m/dak kesme hızında 150-300 N

arasında bir değer almıştır. Kesme hızının 5 kat artmasıyla birlikte kuvvetler yaklaşık olarak % 50 oranında azalmaktadır.

Deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki en kötü yakınsama 240 m/dak kesme hızında TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takım için elde edilen sonuçlarda yaklaşık olarak % 70 olarak görülmektedir. Buna karşılık en iyi yakınsama ise; 60 m/dak kesme hızında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımda elde edilen sonuçlarda % 97 seviyesindedir. Buna göre deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki makul seviyede bir uyum olduğu görülmektedir. Minimum pasif kesme kuvvetleri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık maksimum pasif kesme kuvveti ise, kaplamasız ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımla yapılan kesme işleminde görülmektedir.

İlerleme hızındaki artışla birlikte kesme hızı artmaktadır. İlerleme hızındaki artışın kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımda daha net bir şekilde görülmektedir. İlerleme hızındaki % 100' lük bir artışla birlikte kesme kuvvetleri yaklaşık olarak % 75-85 oranında artarken, buna karşılık diğer iki kesici takımla yapılan kesme işleminde bu oran % 60-70 arasında görülmektedir. 60 m/dak kesme hızında yapılan değerlendirmede, en küçük kesme kuvveti değeri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımla 0,05 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 170 N olarak görülmüştür. Buna mukabil maksimum kesme kuvveti değeri ise, kaplamalı kesici takımla 0,2 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık 575 N olarak tespit edilmiştir.

Deneysel ve nümerik çalışmalarda ilerleme hızının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırıldığında, sonuçların uluslar arası literatürde yayınlanan çalışmalardan daha iyi olduğunu söylemek mümkündür. En iyi uyum ise, kaplamasız ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımla 0,05 mm/dev ilerleme hızında yaklaşık olarak % 99' luk bir uyum söz konusudur. Özellikle kaplamasız ve TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN kaplamalı kesici takımdan elde edilen sonuçlar arasındaki uyum bütün ilerleme hızlarında mükemmel yakın düzeydedir. İlerleme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerindeki farkın bir miktar arttığı görülmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımdan elde edilen sonuçların

daha istikrarlı olduğu söylenebilir. Minimum ve maksimum ilerleme hızlarında deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki sapma yaklaşık % 4 dür. Bu da uluslar arası çalışmalarda kabul edilebilir bir aralıktır. İlerleme hızının artmasıyla birlikte pasif kuvvetler de artmış olup bütün kesici takımlar için bu artış lineer bir şekilde gerçekleşmiştir.

Kesme sıcaklığının takım üzerindeki etkisi nümerik olarak araştırıldığında, sonuçlarda dikkati çeken ilk unsur ilerleme hızındaki artışla paralel olarak kesme sıcaklığının artmasıdır. Bu doğrultuda minimum kesme sıcaklığı 0,05 mm/dev ilerleme hızında görülürken, maksimum sıcaklık ise, 0,2 mm/dev ilerleme hızında görülmektedir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak takım üzerinde meydana gelen sıcaklıkta artmaktadır. Kesici takım yüzeyine uygulanan kaplama türü, ısının kesici takıma geçişini önemli oranda etkilemektedir. Kaplamasız takımda derinliği bağlı olarak elde edilen sıcaklık değerleri lineer bir azalma gösterirken, kaplamalı takımlarda sıcaklık ani bir düşüş sergilemektedir. Buda kaplama malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının artan kesme sıcaklığıyla düşmesinin bir sonucudur.

Kesici takıma etkiyen gerilmeler takımda meydana gelebilecek hasarların oluşumu noktasında oldukça önem arz etmektedir. Takım yüzeyindeki artan gerilme değeri, takımın ömrünü daha çabuk tamamlamasına neden olur. Bu nedenle yapılan bu çalışmada kesme hızına ve kaplama türüne bağlı olarak, kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin değişimi de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, artan kesme hızıyla birlikte kesme kuvvetlerinin azalması ve bunun sonucu olarak takım yüzeyindeki gerilmelerin azaldığını göstermiştir. Ayrıca kaplama kalınlığı boyunca gerilmelerin arttığı saptanmıştır. Bu sonuç literatürle uyumlu olmakla beraber, kaplama malzemelerinin farklı genişleme katsayılarına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

## **6.1 Öneriler**

Deneysel verilerle nümerik modelden elde edilen sonuçlardaki kesme kuvvetlerinin ortalama %97 oranında örtüştüğü ve nümerik modelin kullanılabilirliğinin mümkün

olduğu öngörülmektedir. Kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin sonuçları arasındaki uyumunun arttığı, nümerik çalışmada sağlıklı sonuç elde edebilmek için yüksek kesme hızlarının tercih edilmesi ile deneysel çalışmalardaki sonuçlar ile örtüşme oranını yükseleceği belirlenmiştir.

Kesme kuvvetlerin kaplamalı kesici takımlarda daha düşük çıkması kaplamalı kesici takımların verimliliğinin arttırdığı ve takım ömrünün artmasına sebep olduğu bilinmektedir. Kaplama malzemesinin sahip olduğu temel iletkenlik katsayısı kaplamasız kesici takımın temel iletkenlik katsayısından düşük olması kesme esnasında TiN'in kesici takıma yüksek bir aşınma direnci sağlamasından dolayı, kaplamasız kesici takıma nazaran daha geç aşınması nedeni ile tercih edilebilir.

Kesme sıcaklığı takım ömrünü olumsuz etkileyen unsurlardan birisidir. Bu yüzden kesme işleminde oluşan yüksek sıcaklık takımın daha çabuk deforme olmasını sağlamaktadır. Fakat kullanılan kaplamalı kesici takımlarda sıcaklığın yüksek olmasına rağmen aşınma direnci noktasında sağladığı yüksek dayanım aradaki bu sıcaklık farkını domine etmektedir. Dolayısı ile kesme işleminde takım ömrünün daha uzun olması için kaplamalı kesici takımlar tercih edilmelidir.

Yüksek kesme hızlarında pasif kesme kuvvetlerinin azalması takım ömrünü artıracığından her üç kesici içinde pasif kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde  $Al_2O_3$  kaplamalı kesici takım ile yapılan kesme işleminde en düşük pasif kesme kuvveti elde edildiğinden takım ömrü ve işleme zamanı bakımından kullanılması öngörülmektedir.

İlerleme hızının artması pasif kesme kuvvetlerini artıracığından kullanılan kesici takımlar için yüksek kesme hızlarında düşük ilerleme hızları tercih edilmelidir.

Takım üzerine etkileyen gerilmenin minimum değerinde olabilmesi için düşük ilerleme hızları ve düşük kesme hızları tercih edilmelidir. Kaplamasız kesici takımların kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek efektif gerilmeye neden olması sebebi ile kaplamalı kesici takımların tercih edilmesi gerektiği öngörülmektedir.



## 7. KAYNAKLAR

- Adibi-Sedeh, A., Vaziri, H., Pednekar, M., Madhavan, V. Ivester,R., 2005, “Investigation of the effect of using different material models on finite element simulations of machining.” Paper read at 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, at Chemnitz, Germany.
- Akkurt,M., 1992 “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”,Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T., and Sheikh, M.A., 2004, “An investigation of the tool–chip contact length and wear in high-speed turning of EN19 Steel”Proceedings of Institution Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture Vol. 218, 889–903
- Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T., Sheikh, M.A., 2005,“ Heat generation and temperature predictionin metal cutting:A review and implications for high speed machining.” International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 46, Issues 7-8, Pages 782-800
- Bagchi, A., and Wright, P.K., 1987, “Stress Analysis in Machining With The Use of Sapphire Tools” Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 409, No. 1836, pp. 99-113
- Barrow, G., Graham, W., Kurimoto, Leong, T.,Y. F., 1982, “Determination of Rake Face Stress Distributionin Orthogonal Machining”, International Journal of Machine Tool Design and Research,Vol. 22, No. 1, 75-85,.
- Coelho, R. T., Ng, E. G., Elbestawi, M. A., 2007, ”Tool wear when turning hardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions” International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 47, 263–272
- Childs, T.H.C., Mackawa, K., Obikawa, T., Yamane, Y., 2000, “Metal cutting.” Theory and Applications, Arnold,
- Dhananjay, Joshi,2005,“Finite Element Simulation of Machining a Nickel-Based Superalloy - Inconel 718” Bachelor of Engineering University of Pune Pune, India
- DeGarmo, E.P., Black, J.T., & Kohser, R.A.,1988, “Materials and processesin manufacturing.” New York: Macmillan.

- Ee, K.C., Dillon, O.W., Jawahir, Jr and I.S., 1999, "Finite element modeling of residual stresses in machining induced by cutting using a tool with finite edge radius" *Int. J. Mech. Sci.*, Vol 47, 1611-1628.
- Grzesik, W., 2006, "Determination of Temperature Distribution in The Cutting Zone Using Hybrid Analytical-Fem Technique", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.46, 651–658
- Grzesik, W., 2001,"An Investigation of the Thermal Effects in Orthogonal Cutting Associated with Multilayer Coatings" *CIRP Annals - Manufacturing Technology* Vol. 50, Issue 1, Pages 53-56
- Grzesik, W., 2005,"Analytical Models Based on Composite Layer for Computation of Tool-Chip Interface Temperatures in Machining Steels with Multilayer Coated Cutting Tools" *CIRP Annals - Manufacturing Technology* Vol. 54, Issue 1, Pages 91-94
- Grzesik, W., Bartoszuk, M., Nieslony, P.,2005,"Finite element modeling of temperature distribution in the cutting zone in turning processes with differently coated tools" *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 164-165, Pages 1204-1211 *AMPT/AMME05 Part 2*
- Grzesik, W., 2008,"Advanced Machining Process of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications" Elsevier Science.
- Guo, Y.B., Yen, David W., 2004, "A FEM study on mechanisms of discontinuous chip formation in hard machining", *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 155–156, Pages 1350–1356 *Proceedings of the International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies: Part 2*
- Guo, Y.B., Wen, Q., 2005,"A Hybrid Approach to Investigate Chip Morphology Transition from Saw-tooth to Discontinuous Chips with the Effects of Cutting Edge Geometry," *Trans. NAMRI/SME*, XXXIII, pp. 469-476.
- Jaharah, A.G., Wahid, S.W., Che Hassan, C.H., Nuawi, M.Z., Mohd Nizam Ab Rahman, 2009, "The Effect of Uncoated Carbide Tool Geometries in Turning AISI 1045 Using Finite Element Analysis" *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.28 No.2, pp.271-277

- Kusiak, Andrzej., Battaglia, Jean-Luc., Rech, Joe L., 2005, "Tool coatings influence on the heat transfer in the tool during machining." *Surface and Coatings Technology* Vol. 195, 29-40
- Kalhor, V., 2001, "Modeling and simulation of mechanical cutting." Doctoral thesis, Lulea University of Technology
- Lee, H., 2007, "An experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels" School of Mechanical manufacturing Engineering The University of the New South Wales Sydney 2052, Australia
- Lei, S., Sahin, Y.C., Incropera, F.P., 1999, "Thermo-mechanical modeling of orthogonal machining process by finite element analysis" *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 39, 731-750
- Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V., 2005 "Thermomechanical finite element simulations of ultrasonically assisted turning." *Computational Materials Science* Vol. 32, Issues 3-4, Pages 463-471
- Marusich, T., and Ortiz, M., 2001, "Modelling and simulation of high speed machining" To appear: *Int. J. Num. Meth. Eng.*
- Moufki, A., Molinari, D., Dudzinski, 1998, "Modelling of Orthogonal Cutting With A Temperature Dependent Friction Law" *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 46, No. 10, pp. 2103-2138
- Marinov, V., 1999, "The Tool Chip Contact Length on Orthogonal Metal Cutting" *Proceedings of 5th International Conference on Advanced Engineering and Technology*, AMTECH 99, Plovdiv, Bulgaria, 149-155
- Mativenga, P.T., Abukhshim, N.A., Sheikh, M.A., and Hon, B.K.K., 2006, "An Investigation of Tool Chip Contact Phenomena in High-Speed Turning Using Coated Tools", *Proceedings of IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 220, 657-667,
- Ng, E.-G., Aspinwall, D.K., Brazil, D., Monaghan, J., 1999, "Modeling of temperature and forces when orthogonally machining hardened steel" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 39, 885-903.
- Nalbant, M., Altın, A., Gökkaya, H., 2006, "The effect of coating material and geometry of cutting tool and cutting speed on machinability properties of Inconel 718 super alloys" *Materials & Design* Vol. 28, Issue 5, Pages 1719-1724

- Ng, E.-G., Aspinwall, D.K., 1999, "Evaluation of cutting force and temperature when turning hardened die steel with Amborite AMB90 and DBC50 tooling." *Indian Diamond Rev.* Vol. 59, Pages 83–240
- Ng,E.-G., and Aspinvall, D., 2002, "Modelling of hard part machining" *journal of materials Processing Technology* Vol.127, Issue 2, Pages 222-229
- Ozlu, E., Budak, E., Molinari,A., 2007,"Thermomechanical modeling of orthogonal cutting including the effect of stick-slide regions on the rake face", Micari, Fabrizio and Filice, Luigino (eds.), 10th CIRP INternational Workshop on Modeling of Machining Operations
- Qian, Li., Mohammad Robiul Hossan, 2007,"Effect on cutting force in turning hardened tool steels with cubic boron nitride inserts" *Journal of Materials Processing Technology*Vol.191,Issues1-3,Pages274-278
- Özel, T., 2006, "The influence of friction models on finite element simulations of machining", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 46, Issue 5, 518-530
- Özel, T., Erol, Z., 2005, "Finite Element Modeling Of Stresses Induced By High Speed Machining With Round Edge Cutting Tools" *Proceedings of IMECE'04, 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Orlando, Florida, November 5-11*
- Özel, T., Erol, Z., 2005, "Finite Element Method Simulation of Machining of AISI 1045 Steel With A Round Edge Cutting Tool" *Proceedings of 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, Chemnitz, Germany May 10-11, pp. 533-542*
- Özel, T., Zeren, E., 2006, "Finite Element Analysis of The Influence of EdgeRoundness on The Stress and Temperature Fields Induced by High Speed Machining" *Proceedings of the CIRP 2nd Int. Conference on High Speed Cutting, June 12-13, Vancouver, Canada.*
- Pereira, J.M., Lerch, B.A., 2001, "fects of Heat Treatment on The Ballistic Impact Properties of Inconel 718 for Jet Engine Fan Containment Applications" *International Journal of Impact Engineering* Vol. 25, 715–733

- Rech, J., Kusiakb, A., Battagliab, J.L., 2004, "Tribological and thermal functions of cutting tool coatings" *Surface and Coatings Technology* Vol. 186, Issue 3, 1 Pages 364-371
- Rech, J., 2005, "Influence of cutting tool coatings on the tribological phenomena at the tool–chip interface in orthogonal dry turning" *Surface and Coatings Technology* Vol. 200, Issues 16-17, Pages 5132-5139
- Rosa, P.A.R., Martins, P.A.F., Atkins, A.G., 2007, "Revisiting the Fundamentals of metal cutting by means of finite elements and ductile fractura mechanics." *Int. J. Mach. Tools Manufacture* Vol. 47, 607-617.
- Reginaldo, T., Coelho, Eu-Gene Ng., Elbestawi, M.A., 2007, "Tool wear when turninghardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, 263-272
- Rech, J., Kusiak, AJ., Battaglia, L., 2004," Tribological and thermal functions of cutting tool coatings" *Surface and Coatings Technology* Vol. 186, Issue 3, Pages 364-371
- Sadik, M. I., Lindstrom, B., 1993, "The Role of Tool–Chip Contact Length in Metal Cutting", *J. Mater. Processing Technol.*, Vol. 37, 613–627
- Sartkulvanich, V., Altan, T., 2005,"Effects of Flow Stress And Friction Models In Finite Element Simulation of Orthogonal Cutting-A Sensitivity Study", *Machining Science and Technology*, Vol. 9, 1–25
- Sutter, G., 2005, "Chip Geometries During High-Speed Machining for Orthogonal Cutting Conditions", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* Vol. 45, 719- 726
- Şahin, Y., 2003, "Talaş Kaldırma Teorisi", Gazi Kitapevi, Ankara, Türkiye.
- Şeker, U., 1997, "takım tasarımı ders notları". Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5–11, 33–44, 47–72
- Toman MacGinley, John, Monaghan, 2001, "Modeling the orthogonal machining rocessusing coated cemented carbide cutting tools" *Journal of materials processing technology* ISSN 0924-0136 vol. 118, 293-300

- Toropov, A., Ko, S-L., 2003, "Prediction of Tool-Chip Contact Length Using a New Slip-Line Solution for Orthogonal Cutting", International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 43, 1209–1215
- Umbrello, D., M'Saoubi, J., Outerio ,C., 2007, "the influence of johonson- Cook meterial constants on finite element simulation of machining of AISI 316L steel" Int.J.Mach. Tools Manuf., Vol. 47, 462-470
- Uhlmann, E., Graf, M., Zettier, R., 2007, "Finite Element Modeling and Cutting Simulation of Inconel 718"CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol.56, 61-64
- Ucun İ., Aslantaş, K., Karabulut, A., 2009, "Ortagonol Kesme İşleminde Takım-Talaş Temas Uzunluğundaki Değişimin Araştırılması" Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi, (Basımda)
- Ucun, İ., Aslantaş,K., Ucun, İ., "Finite element modelling of machining of AISI 1045 with ceramic cutting tool" Int. J. Materials and Product Technology, (Basımda)
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Apaydın, D., 2009, "Çok Kaplamalı Kesici Takımla Tornalama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi" Matit 2009-Makine tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya
- Ucun, İ, Aslantaş, K., 2008, "Talaş Açısının Kesme Kuvvetleri ve Kesme,Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi" Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar
- Ucun, İ., Apaydın,D., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., 2007, "İlerleme Miktarının Kesme Kuvvetleri ve Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi" IV. Makine Tasarımı ve İmalatı Teknolojileri Kongresi 24–25
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Ucun, İ., 2008, "Farklı Kenar Geometrisine Sahip Seramik Kesici Takımlar Kullanılarak AISI 1045 Çeliğinin İşlenebilirliğinin Modellenmesi" 13. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi 03- 05 Eylül 2008, İstanbul, Türkiye
- Wince, J. N., 2002, "Modeling Chip Formation in Orthogonal Metal CuttingUsing Finite lement Analysis,"A Thesis for Degree of Master of Science, Mississippi State University

- Yigit, R., Celik,E., Findik, F., Koksall, S., 2008, “Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 204, Issues 1-3, Pages 80-88
- Yen, Y.-C., Jain, A., Chigurupati, P., Wu, W.-T., Altan, T., 2004, “Computer simulation of orthogonal cutting using a tool with multiple coatings” Mach. Sci. Technol., Vol. 8/2, 305-326
- Zorev, N.N., 1963, “Inter-relationship between Shear Processes Occurring Along Tool Face and Shear Plane in Metal Cutting” ASME, International Research in Production Engineering, New York, 42-49

### **7.1 Internet Kaynakları**

	<b>Erişim Tarihi</b>
1- <a href="http://www.matweb.com">http://www.matweb.com</a>	10.02.2009
2- <a href="http://www.mycarbide.cn/TypeT.html">http://www.mycarbide.cn/TypeT.html</a>	10.05.2009
3- <a href="http://www.iscar.com">http://www.iscar.com</a>	02.03.2009
4- <a href="http://www.coromand.sandvik.com/tr">http://www.coromand.sandvik.com/tr</a>	12.03.2009

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Dursun APAYDIN
Doğum Yeri	Nuh Kasabası/AFYONKARAHİSAR
Doğum Tarihi	15/08/1969
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dili	İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Afyonkarahisar Anadolu Teknik Lisesi Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi 1987
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim dalı 1993
Yüksek Lisans	

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Ulus Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü  
Ulus/Bartın 1993–1996  
Afyonkarahisar Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi  
Makine Teknolojileri Alanı 1996-

### Yayımları (SCI ve diğer)

1. “İlerleme Miktarının Kesme Kuvvetleri ve Kesme Sıcaklığı Üzerindeki Etkisinin Modellenmesi” 2007-IV. Makine Tasarımı ve İmalatı Teknolojileri Kongresi 24–25
2. Çok Kaplamalı Kesici Takımla Tornalama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi” Matit 2009-Makine tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya