

**AISI 316L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN SONLU ELEMANLAR
METODU İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fuat KARA

DANIŞMAN

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AISI 316L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN SONLU
ELEMENLAR METODU İLE MODELLENMESİ**

Fuat KARA

DANIŞMAN

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

MAKİNE EĞİTİMİ

OCAK 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ danışmanlığında,
Fuat KARA tarafından hazırlanan “AISI 316L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLENMESİ”
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
04 / 01 / 2010
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Adem ÇİÇEK	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Literatür Araştırması	3
2. PASLANMAZ ÇELİKLER	25
2.1 Paslanmaz Çelikler.....	25
2.1.1 Paslanmaz Çelik Türleri	26
2.1.1.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler	28
2.1.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	28
2.1.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	29
2.1.1.4 Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler	30
2.1.1.5 Çökelme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler ...	31
2.1.2 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği	32
3. KESME İŞLEMİNİN SONLU ELEMANLARLA MODELLENMESİ.....	34
3.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kullanımı.....	35
3.2 Nümerik Modellemede Malzeme Modelinin Önemi	39
4. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN MEKANİĞİ	41
4.1 Talaş Kaldırma Teorileri	41
4.1.1 Ernst, Merchant ve Piispanen Yaklaşımı.....	42
4.1.2 Lee ve Shaffer Yaklaşımı	46
4.1.3 Oxley Yaklaşımı.....	49
4.2 Dik (Ortogonal) ve Eğik (Meyilli) Kesme İşlemi.....	50
4.3 Kayma Düzlemi ve Kayma Açısı	51
4.4 Kesme Kuvvetleri ve Gerilmeler	53

4.4.1 Talaş Kaldırmada Oluşan Kesme Kuvvetleri	53
4.4.2 Talaş Kaldırmada Gerilme Dağılımı	54
4.4.2.1 İş Parçasında Gerilme	54
4.4.2.2 Takım-Talaş Ara Yüzeyindeki Gerilme.....	55
4.5 Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu	56
4.5.1 Kesme Sıcaklığı	58
4.6 Takım-Talaş Ara Yüzeyindeki Sürtünme.....	59
5. MATERYAL ve METOT	62
5.1 İş Malzemesinin Özellikleri.....	62
5.2 Kesici Takım Özellikleri	63
5.3 Deney Düzeneği ve Kuvvetlerin Ölçülmesi	64
5.4 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları.....	65
6. DENEYSEL ve NÜMERİK SONUÇLAR	67
6.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi	67
6.2 Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması	73
6.2.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi.....	73
6.2.2 İlerlemenin Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi	79
6.3 Kesme Parametrelerinin Talaş Biçimine Etkisi	83
6.4 Oluşan Talaş Şekillerinin SEM (Scanning Electron Microscope-Tarayıcı Elektron Mikroskobu) Analizi	86
6.5 Kesme Sıcaklığının Değişimi	94
6.6 Takım Sıcaklığının Değişimi	97
6.7 Kesici Takımdaki Gerilmelerin Değişimi	103
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	107
7.1 Öneriler.....	110
8. KAYNAKLAR	112
8.1 İnternet Kaynakları.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ÖZET

Yüksek Lisans

AISI 316L PASLANMAZ ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLENMESİ

Fuat KARA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Bölümü

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin ortogonal kesme şartlarında tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı kesme parametrelerinde, kaplamalı ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ ve Al_2O_3) ve kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik için kesme deneyleri yapılmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri Kistler 9257B marka dinamometre aracılığı ile ölçülmüştür. Nümerik modelleme için Deform-2D programı, malzeme modeli olarak da Johnson-Cook (J-C) malzeme modeli kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca talaş morfolojisinin kaplama türü ve kesme parametreleriyle değişimi araştırılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen deneysel ve nümerik kesme kuvveti değerleri 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.

2010, 121 sayfa

Anahtar Sözcükler: AISI 316L Paslanmaz Çelik, Sonlu Elemanlar Metodu, Ortogonal Kesme, Kesme Kuvvetleri

ABSTRACT

Master Science

MODELLING OF MACHINING OF AISI 316L STAINLESS STEEL USING FINITE ELEMENT METHOD

Fuat KARA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Kubilay ASLANTAŞ

In this study, experimental and numerical analyses of cutting forces generated during turning under orthogonal cutting conditions of AISI 316L austenitic stainless steel were performed. For this purpose, the cutting tests for AISI 316L austenitic stainless steel were conducted by use of coated ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ and Al_2O_3) and uncoated carbide cutting tools in different cutting parameters. The cutting forces generated during cutting were measured by a Kistler 9257B type dynamometer. Deform-2D package program for numerical modeling and Johnson-Cook (J-C) material model as a material model were used. Variation of chip morphology depending on coating type and cutting parameters was also investigated in the study. The values of experimental and numerical cutting forces generated depending on cutting parameters were compared and it was observed that the results significantly were in harmony. However, the cutting temperature generated during cutting for each cutting tool, and the stress values generated on the tool were obtained by finite element analysis.

2010, 121 pages

Keywords: AISI 316L Stainless Steel, Finite Element Method, Orthogonal Cutting, Cutting Forces.

TEŞEKKÜR

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

Tez çalışmamda nasıl bir yol takip edeceğimi, literatür taraması, makale çevirisi ve daha birçok konuda deneyimleri ile yoluma ışık tutan çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Adem ÇİÇEK'e teşekkür ederim. Yine nümerik analizlerin gerçekleştirilmesi sürecinde, yardımını esirgmeden tecrübelerini benimle paylaşan çok kıymetli arkadaşım Sayın Arş. Gör. İrfan UCUN'a teşekkür ederim.

Kesme deneylerinin gerçekleştirilmesi sürecinde bizzat deneylerde benimle birlikte emek sarf eden Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden, Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT'a ve Arş. Gör. Gültekin UZUN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmamda manevi destekleriyle her an yanımda gördüğüm meslektaşlarım, Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü akademik personeline teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve destekleriyle beni bu başarılarla taşıyan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

β	Sürtünme açısı (°)
α	Boşluk açısı, (°)
γ	Talaş açısı, (°)
γ_{ne}	Normal talaş açısı, (°)
ϕ	Kayma açısı, (°)
F_f	Takım yüzeyi üzerindeki sürtünme kuvveti (N)
F_n	Takım yüzeyi üzerindeki normal kuvvet (N)
R	Takım kuvveti sonucu oluşan bileşke kuvveti (N)
N_s	Kayma düzlemine etki eden normal kuvvet (N)
F_t	İlerleme kuvveti (N)
F_c	Asıl kesme kuvveti (N)
F_s	Kayma düzlemine etki eden sürtünme kuvveti (N)
L	İşleme boyu (mm)
n	Takım üssü (mm)
V_c	Kesme hızı (m/dak)
l_c	Talaş takım temas boyu (mm)
w	Kesici takım pah uzunluğu (mm)
t	Deforme olmamış talaş kalınlığı (mm)
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
ρ	İş malzemesinin yoğunluğu (kg/m ³)
μ_s	Kayma düzlemi üzerinde iş malzemesinin kayma dayanımı (MPa)
A_s	Kayma düzlemi alanı (mm ²)
A_c	Deforme olmamış talaş kesit alanı (mm ²)
r_c	Talaş sıkışma oranı
μ	Sürtünme katsayısı
C	Özgül ısı kapasitesi
a_p	Ortogonal kesme işleminde kesme derinliği (mm)
a	Talaş derinliği

2. Kısaltmalar

AIISI	American Iron and Steel Institute- Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (Amerikan Çelik Standardı)
BUE	Built-up edge- kesici kenar üzerinde talaş yığılması
CNC	Computer Numerical Control - Bilgisayarlı Sayısal Denetim
FEM	Finite Element Method - Sonlu Elemanlar Metodu
DEFORM	Design Environment for F orming
SEM	Scanner Electron Microscope – Tarayıcı Elektron Mikroskobu
FEA	Finite Element Analysis – Sonlu Elemanlar Analizi
ISO	International Standard for Organization
HB	Hardness Brinell – Brinell Sertliği
HR_c	Hardness Rockwell C – Rockwell C sertliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	İş parçası derinliği boyunca gerilme bileşenleri	4
Şekil 1.2	Kesici takım pah açısına bağlı olarak asıl kesme kuvveti ve pasif kuvvetin değişimi	5
Şekil 1.3	Kesici takıma ait pah açısının ve pah uzunluğunun kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi	5
Şekil 1.4	Ortogonal kesme işleminde deformasyon bölgelerinde meydana gelen şekil değiştirme hızı	8
Şekil 1.5	WC ve TiCN+AL ₂ O ₃ +TiN kaplı kesici takım ile kesme hızlarının asıl kesme kuvveti üzerindeki etkisi	9
Şekil 1.6	WC ve TiCN+AL ₂ O ₃ +TiN kaplı kesici takım ile kesme hızlarının pasif kesme kuvveti üzerindeki etkisi	9
Şekil 1.7	Ortogonal şartlarda kesme kuvvetine göre yüzeysel artık gerilmelerin değişimi	10
Şekil 1.8	y=0.04 mm ve y=0.1 mm derinlikte SY ve SXY gerilmelerindeki değişim	11
Şekil 1.9	1-) TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al ₂ O ₃ kaplanmış kesici takımlarla a) AISI 304 ve b) AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin 0,16 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına göre değişimleri 2-) TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al ₂ O ₃ kaplanmış kesici takımlarla a) AISI 304 ve b) AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin 0,16 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri	13
Şekil 1.10	1-) Her bir kesme hızında talaş açısına bağlı kesme kuvveti değerlerinin değişimi. 2-) Kesme hızı ve talaş açısına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim	14

Şekil 1.11	AA5052 alaşımın kaplamasız karbür kesici takım ile 100 m/dak kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde meydana gelen talaş yığılmasının SEM geometrileri	15
Şekil 1.12	A) Kayma hızına göre temas sıcaklığı. B) Makroskobik kayma hızı ve lokal kayma hızı ortalamasının karşılaştırılması. C) Sıcaklığa bağlı olarak adhesiv sürtünme katsayısının değişimi. D) Lokal kayma hızına göre adhesiv kayma hızının değişimi	16
Şekil 1.13	Kayma hızı ara yüzüne sürtünme modelinin etkisi	18
Şekil 1.14	A) Kesme sıcaklığının ilerleme miktarına ve kesme hızına bağlı olarak değişimi B) Elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması	19
Şekil 1.15	Oksi-asetilen aleviyle ısıtılan kesici takım ucundaki sıcaklığın referans ve takım-iş parçası ısıl çiftiyle ölçümünde zamana bağlı sıcaklık değişimi	20
Şekil 1.16	Farklı kesme yağlarının ilerleme ve yüzey pürüzlülüğü değerleri (1) Hindistan cevizi yağı, (2) Çözülür kesme yağı ve (3) Saf kesme yağı	21
Şekil 2.1	Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları	26
Şekil 2.2	Paslanmaz çelik türleri	27
Şekil 2.3	Östenitik ve ferritik paslanmaz çelik türlerinin içyapıları	30
Şekil 3.1	Dairenin sonlu sayıda elemana bölünmesi	35
Şekil 3.2	Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Eulerian yaklaşımı	36
Şekil 3.3	Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Lagrangian yaklaşımı	36
Şekil 3.4	Ortogonal kesme işlemindeki ALE yaklaşımı ile elde edilmiş sonuçlar	37
Şekil 3.5	Bazı ticari ve özel yazılımlar kullanılarak ortogonal kesme işleminin modellenmesi	38
Şekil 3.6	Farklı malzeme modelleri için elde edilen sıcaklık dağılımları	40

Şekil 4.1	Merchant'ın ideal talaş oluşum modeli	42
Şekil 4.2	Ortogonal kesmede kuvvet diyagramı	43
Şekil 4.3	Piispanen talaş oluşum modeli	46
Şekil 4.4	Ortogonal kesme için Lee Ve Shaffer'ın kayma hattı alanı teorisi	47
Şekil 4.5	Farklı teorilerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	49
Şekil 4.6	Kesme yöntemlerinin şematik gösterimi a) Dik (Ortogonal) kesme b) Eğik (Meyilli) kesme	50
Şekil 4.7	Dik (Ortogonal) kesmede kayma düzlemi ve takım üzerindeki kuvvetler	51
Şekil 4.8	Dik (Ortogonal) kesme modeli	52
Şekil 4.9	Tornalamada oluşan kesme kuvvetleri	53
Şekil 4.10	İş parçasında gerilmeler	55
Şekil 4.11	Kesme esnasında takım-talaş üzerindeki gerilme dağılımları	55
Şekil 4.12	Talaş kaldırma işleminde takım-talaş ve iş parçasında meydana gelen ısı dağılımı	57
Şekil 4.13	Dik kesmede ısının meydana gelişi	59
Şekil 5.1	Ortogonal kesme işleminde kullanılan deney numunesi	62
Şekil 5.2	Deneylerde kullanılan takım tutucu	64
Şekil 5.3	Nümerik çözümlerde kullanılan iki boyutlu sonlu elemanlar modeli	66
Şekil 6.1	Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	68
Şekil 6.2	TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	69
Şekil 6.3	Al ₂ O ₃ kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi	70
Şekil 6.4	Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi	70
Şekil 6.5	TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi	72

Şekil 6.6	Al_2O_3 kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi	73
Şekil 6.7	Nümerik analizlerde el edilen kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimi	73
Şekil 6.8	Kaplamasız karbür ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	74
Şekil 6.9	Kaplamasız karbür ve Al_2O_3 kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	75
Şekil 6.10	$TiCN+Al_2O_3+TiN$ ve Al_2O_3 kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	76
Şekil 6.11	Kaplamasız karbür ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde ilerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	77
Şekil 6.12	Kaplamasız karbür ve Al_2O_3 kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde ilerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	78
Şekil 6.13	$TiCN+Al_2O_3+TiN$ ve Al_2O_3 kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde İlerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması	79
Şekil 6.14	Kaplamasız karbür ve $TiCN+ Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	80
Şekil 6.15	Kaplamasız karbür ve Al_2O_3 kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	81
Şekil 6.16	Kaplamasız karbür ve $TiCN+ Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takım için elde edilen ilerleme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	82

Şekil 6.17	Kaplamasız karbür ve Al_2O_3 kaplı kesici takım için elde edilen ilerleme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi	82
Şekil 6.18	Talaş geometrisi	86
Şekil 6.19	Talaşlarda oluşan maksimum yükseklik değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi	87
Şekil 6.20	Talaşlarda oluşan minimum yükseklik değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi	88
Şekil 6.21	Talaşlarda oluşan adım değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi	88
Şekil 6.22	Talaşlarda oluşan maksimum yükseklik değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi	89
Şekil 6.23	Talaşlarda oluşan minimum yükseklik değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi	90
Şekil 6.24	Talaşlarda oluşan adım değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi	91
Şekil 6.25	İlerleme hızına bağlı olarak takım üzerindeki kesme sıcaklığının değişimi	95
Şekil 6.26	Nümerik modellemede 200 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan sıcaklığın dağılımı	96
Şekil 6.27	150 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	98
Şekil 6.28	250 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	99
Şekil 6.29	Farklı kesme hazlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	100
Şekil 6.30	Farklı kesme hazlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	100
Şekil 6.31	Farklı kesme hazlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi	101

Şekil 6.32	Nümerik modellemede 250 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan kesici takım üzerindeki dağılımı	102
Şekil 6.33	150 m/dak kesme hızında 0,2 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımda meydana gelen efektif gerilme dağılımları	103
Şekil 6.34	Takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kaplama türüne bağlı olarak değişimi	104
Şekil 6.35	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi	105
Şekil 6.36	Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi	106

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 5.1	Ortogonal kesme işlemi için kullanılan deney düzeneği	65
Resim 5.2	Verilerin alındığı ve saklandığı bilgisayar sistemi	65
Resim 6.1	Kaplamanın talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 75\text{m/dak}$, $f=0,05\text{ mm/dev}$)	83
Resim 6.2	Kaplamanın talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 250\text{m/dak}$, $f=0,3\text{ mm/dev}$)	84
Resim 6.3	İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 250\text{m/dak}$, Al_2O_3)	84
Resim 6.4	İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 150\text{m/dak}$, $\text{TiCN}+ \text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$)	84
Resim 6.5	İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 75\text{m/dak}$, Kaplamasız)	85
Resim 6.6	Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f= 0,1\text{ mm/dev}$, Kaplamasız)	85
Resim 6.7	Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f= 0,05\text{ mm/dev}$, $\text{TiCN}+ \text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$)	85
Resim 6.8	Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f= 0,05\text{ mm/dev}$, Al_2O_3)	86
Resim 6.9	Deneylerden elde edilen talaşların SEM görüntüleri	92-93-94

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 1.1	Deneysel ve Nümerik olarak elde edilen kuvvetler	6
Çizelge 1.2	Deneysel ve Nümerik olarak elde edilen takım geometrileri	6
Çizelge 1.3	Nümerik ile deneysel arasındaki yüzdelik sapma	7
Çizelge 1.4	Ölçülen ve simülasyonlardan elde edilen kesme ve ilerleme yönündeki kuvvetlerin karşılaştırılması	12
Çizelge 1.5	İşlenen yüzey üzerindeki ölçülen ve nümerik olarak hesaplanan artık	12
Çizelge 1.6	Takımdaki tahmin edilen sıcaklık değerleri	17
Çizelge 1.7	AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı sementit karbür kesici takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	24
Çizelge 5.1	AISI 316L malzemesine ait kimyasal (% ağırlık) özellikler	63
Çizelge 5.2	Çalışmada kullanılan kesici takımların özellikleri	63
Çizelge 5.3	AISI 316L için Johnson-Cook katsayıları	66

1. GİRİŞ

Günümüz insanının yaşam standardında son 50 yılda sağlanan olağanüstü gelişmeler, büyük ölçüde yüksek kaliteli ürünlerin tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan malzeme ve imalat yöntemlerinin ortaya çıkması sayesinde olmuştur. Tasarımcı ve imalatçılar her bir malzemenin özelliklerini, üstünlüklerini ve sınırlarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve en hassas olarak ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar.

Demir esaslı malzemeler arasında yer alan paslanmaz çelikler, son 25 yılda kullanımı hızla yaygınlaşan önemli bir malzeme grubudur. Paslanmaz çeliklerin mükemmel korozyon dayanımları, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri ve estetik görünümleri bu malzemeye geniş bir kullanım alanı açmaktadır.

Östenitik paslanmaz çelikler paslanmaz çelikler arasında yaygın kullanım alanına sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelikler arasında da 300 serisi en çok kullanılan türüdür. AISI 316L kalite östenitik paslanmaz çelik; tıp, savunma ve gıda sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direnci, paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Düşük ısı iletkenliğine sahip olması ve kimyasal bileşiminde krom, nikel ve molibden gibi mukavemet arttırıcı elementleri bulundurması bu çeliklerin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkileyen başlıca faktörlerdir.

İşlenebilirliği etkileyen en önemli faktörlerden birisi de kesici takımlardır. Karbür ve kaplamalı karbür kesici takımlar imalat endüstrisinde sağladıkları avantajlarla geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu sebeple kaplamalı karbür, kesici takımların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Daha uzun takım ömrü, daha yüksek kesme hızlarında çalışma olanağı ve maksimum üretim artışı sağlamak amacıyla kaplamasız karbür kesici takımlar TiC, TiN, TiCN ve Al₂O₃ gibi malzemeler kullanılarak kaplanmaktadır. Bu kaplamalar sayesinde sementit karbür takımların, takım ömürleri neredeyse iki kat artmıştır.

Yüksek kesme sıcaklıkları takım ömrünü etkileyen başlıca etkenlerdendir. Kesme işleminde oluşan kesme sıcaklığının bir kısmı takımda bir kısmı da iş parçasında oluşmaktadır. Takım sıcaklığı ne kadar aza indirgenebilirse istenilen yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne o kadar kolay ulaşılır. Takım ve iş parçasındaki bu ısı geçişleri de termal iletkenlik katsayıları ile ilişkilidir. Takıma ısı geçişini azaltmada kesici takım kaplamaları önemli rol oynamaktadır. Kaplanmış takımların difüzyona karşı dirençli olması ve sürtünme katsayılarının düşük olması kesme işlemlerinde yaygın kullanılmalarını sağlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin zor olması nedeniyle de kaplamalı kesici takımlar tercih edilmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Paslanmaz çeliklerin içerisinde önemli bir kullanım alanına sahip olan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve takıma etkiyen gerilmelerin değişimi araştırılmıştır. Bu amaçla kesme deneylerinde, biri kaplamasız üç adet üç adet karbür kesici takım kullanılmıştır.

Kesme işlemlerinde yapılan deneysel çalışmalar her zaman istenilenleri karşılamayabilmektedir. Bu yüzden deneysel çalışmalar nümerik modelleme ile desteklenerek en uygun kesme şartları ve kesme parametreleri tespit edilmektedir. Yapılan çalışmada nümerik modelleme için Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmış ve sonrasında hem deneysel hem de nümerik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmak suretiyle, kullanılan modelin doğruluğu ortaya konulmuştur. Çalışmanın başlıca amaçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin tornalanmasında en uygun kesme şartlarının belirlenerek literatüre ve talaşlı imalat sektörüne ışık tutması,
- İş parçası malzemesinden farklı kesici takımlar kullanılmak suretiyle talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak belirlenerek karşılaştırılması,

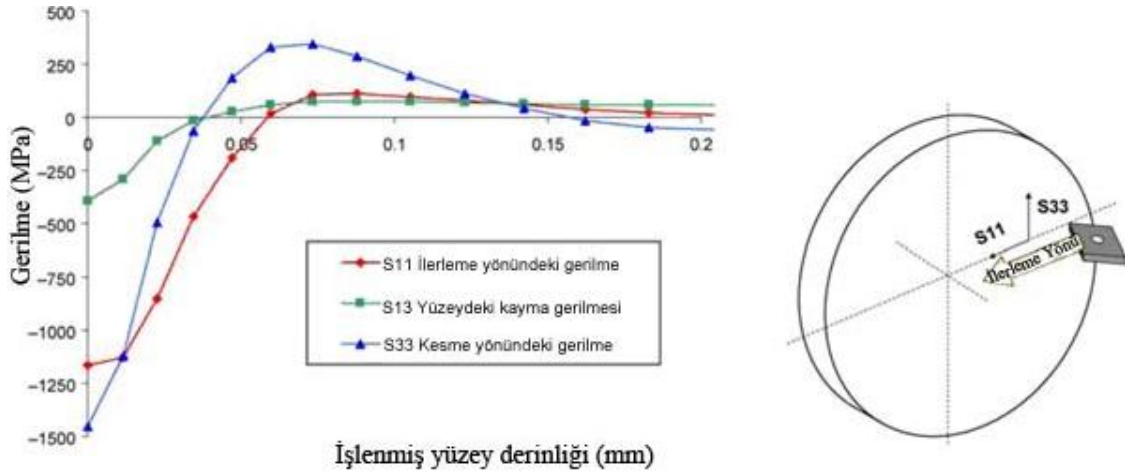
- Kesme kuvvetleri için yapılan deneysel ve nümerik analizler sonuçları arasında maksimum yakınsamanın elde edilmesi ve bu yakınsama değerlerinin literatürdeki değerler ile karşılaştırılması,
- Deneysel olarak belirlenen kesme kuvvetlerinin takım üzerinde oluşturduğu gerilme değerlerinin sonlu elemanlar metoduna (Finite Element Method–FEM) dayalı olarak Deform-2D programını kullanılarak analiz edilmesi ve kaplama türünün kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- Kaplamasız karbür kesici takım ile TiCN+ Al₂O₃ + TiN kaplı kesici takım ve Al₂O₃ kaplı karbür kesici takımlar arasındaki bağıntıyı öğrenerek en uygun kaplama türünün tespit edilmesi,
- Kesme işlemi esnasında oluşan kesme sıcaklığının takım-talaş ara yüzünde nasıl etkili olduğunun tespit edilmesi ve kaplama türünün kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin belirlenmesi,
- Deneysel çalışma ile elde edilen talaş numunelerinin SEM görüntülerini çekerek en uygun talaş geometrisinin hangi kesme şartlarında olduğunun tespit edilmesi.

1.2 Literatür Araştırması

Talaş kaldırma işlemi karmaşık bir işlem olduğundan kesme işlemini tam olarak açıklayan bir teoriyi öne sürmek kolay değildir. Bu yönde çalışmalar yapılmakla birlikte, teori ile pratik uygulamalar arasında hala farklılıklar vardır. Bugüne kadar kesme işleminde en uygun kesme şartlarını belirlemek için çok sayıda deneysel ve nümerik çalışma yapılmıştır. Nümerik çalışmalarda farklı türdeki malzemeler için malzeme modelleri geliştirilmiştir. Deneysel olarak elde edilemeyen sonuçlar geliştirilen malzeme modelleri ile nümerik olarak tespit edilmektedir.

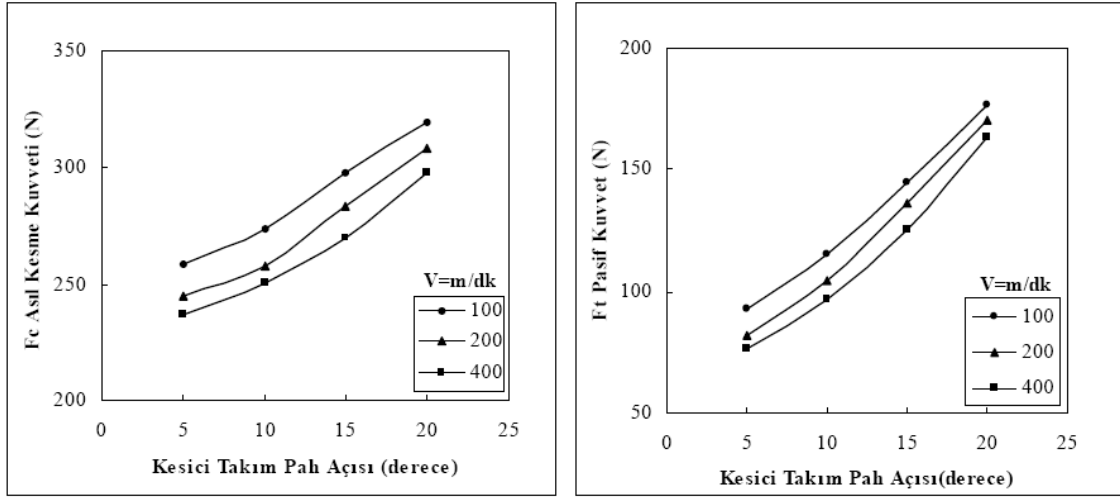
Arrazola ve Özel (2008) yaptıkları çalışmada, hassas sert tornalamanın 3D sonlu eleman modeli esaslı nümerik modellenmesinin ince taneli çok kristalli kübik bor nitrür takımlar kullanılarak AISI 52100 çeliğinin işlenmesindeki gerilmeler, sıcaklıklar ve takım kuvvetleri üzerinde pahlı uç geometrisinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, üç boyutlu hassas sert tornalama için Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) esaslı bir nümerik modelleme kullanılmıştır. İş parçası malzemesi davranışlarını tanımlamak için

Johnson Cook plastisite modeli kullanmışlardır. Ayrıca takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzüne ayrıntılı bir sürtünme modeli oluşturulmuştur. Kesici ucun pah geometrisi bölgesi dikkatli bir şekilde modellenmiştir. İşleme simülasyonlarında ilerleme ve kesme hızı sabit tutularak analizler, sıcaklıklar, kuvvetler ve takım gerilmeleri üzerine odaklı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen nümerik ve deneysel sonuçların literatürde yer alan çalışmalar ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.1).

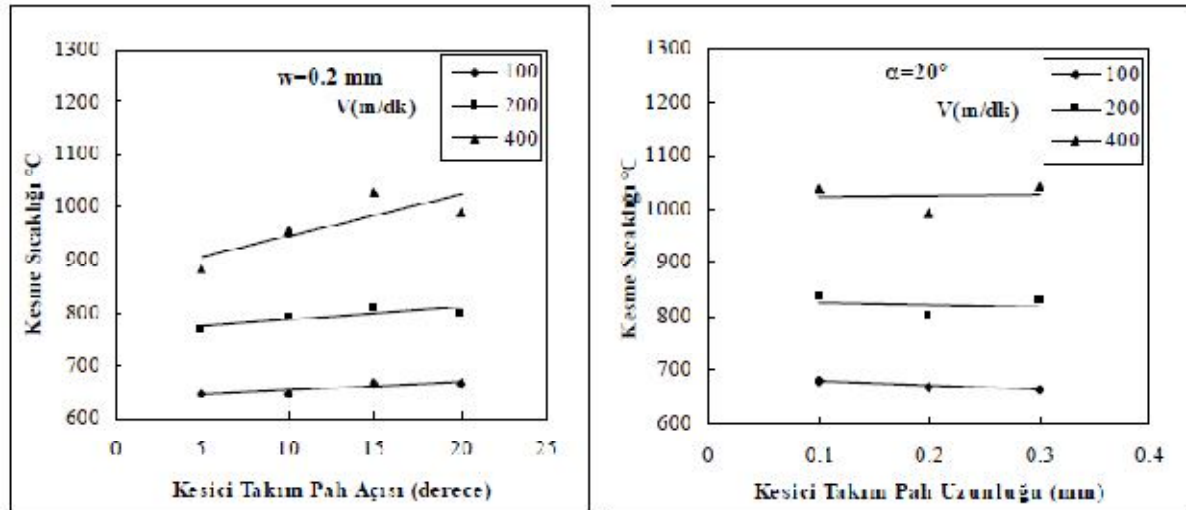


Şekil 1.1 İş parçası derinliği boyunca gerilme bileşenleri (Arrazola ve Özel 2008).

Ucun vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, farklı kenar geometrilerine sahip seramik kesici takımlar kullanarak AISI 1045 çeliğinin ortogonal kesme şartlarında işlenebilirliğini sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Malzemenin plastik deformasyonu için Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmış, kesici kenar pah açısı ve pah uzunluğunun, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin simülasyonu ise, Deform 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kesme kuvvetlerinin (F_c ve F_t), kesici takıma ait pah açısının ve uzunluğunun artmasıyla arttığını ortaya koymuştur (Şekil 1.2). Pah uzunluğunun kesme sıcaklığı üzerinde ise, kayda değer bir etkisi olmamıştır. Ayrıca, 400 m/dak kesme hızında pah açısının, kesme sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Şekil 1.3) (Ucun vd. 2008).



Şekil 1.2 Kesici takım pah açısına bağlı olarak asıl kesme kuvveti ve pasif kuvvetin değişimi ($w=0,2\text{mm}$) (Ucun vd. 2008).



Şekil 1.3 Kesici takıma ait pah açısının ve pah uzunluğunun kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi (Ucun vd. 2008).

Literatürde, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin davranışlarını nümerik olarak tanımlayan beş farklı Johnson-Cook malzeme modeli bulunmaktadır. Umbrello, vd. yapmış oldukları çalışmada AISI 316L paslanmaz çelik için beş farklı malzeme modeli kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan her bir modelin, kesme kuvvetleri, talaş morfolojisi, sıcaklık dağılımları ve artık gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada, kesme hızı 100-200 m/dak, kesme derinliği 0,1-0,2 mm, kesme genişliği 6 mm, kesici takım uç radüsü 0,030 mm alınmış ve deneylerde soğutma sıvısı kullanılmamıştır (Umbrello et al. 2007). Çalışmanın sonucunda, kesme kuvvetleri, talaş morfolojisi, sıcaklık dağılımları ve artık gerilmeleri ölçmek için kullanılan beş farklı J-C malzeme modeli içerisinde en uygun olanının beşinci model olduğu görülmüştür (Çizelge 1.1 ve 1.2).

Çizelge 1.1 Deneysel ve Nümerik olarak elde edilen kuvvetler ($V_c = 100$ m/dak, $b = 0,2$ mm, $a_p = 6$ mm) (Umbrello et al. 2007).

	F_c (N)	F_t (N)
DENEYSEL	3494	2838
NÜMERİK_MODEL1	3430	3002
NÜMERİK_MODEL2	3598	3171
NÜMERİK_MODEL3	3323	2607
NÜMERİK_MODEL4	3195	1954
NÜMERİK_MODEL5	3435	2883

Çizelge 1.2 Deneysel ve Nümerik olarak elde edilen takım geometrileri ($V_c = 100$ m/dak, $b = 0,2$ mm, $a_p = 6$ mm) (Umbrello et al. 2007).

	Maksimum Yükseklik (μm)	Minimum Yükseklik (μm)	Adım (μm)	Talaş Basınç Oranı (CCR)
DENEYSEL	255	407	167	2,0
NÜMERİK_MODEL1	219	423	239	2,1
NÜMERİK_MODEL2	215	423	315	2,1
NÜMERİK_MODEL3	160	310	240	1,6
NÜMERİK_MODEL4	190	417	310	2,1
NÜMERİK_MODEL5	235	412	225	2,1

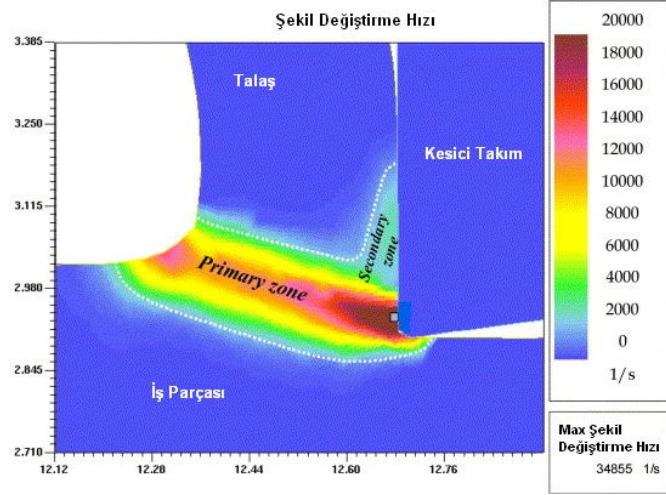
Asad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, A2024-T351 alüminyum alaşımlarını ortogonal kesme yöntemiyle kuru kesme yapmak için nümerik ve deneysel metotları içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada genel amaç, talaş bölünmesi ve parçalanması gibi kesme hızı ile alakalı talaş biçimine eşlik eden fiziksel olayların tespit

edilmesini içerir. Deneysel çalışmayı doğrulamak için, talaşın geometrik analizini içeren, yüksek çözünürlükteki kamera ile talaş biçiminin videoya kaydedilmesi ve kesme kuvvetinin ölçümleri yapılmıştır. Nümerik çalışmada Johnson-Cook malzeme modeli dikkate alınmıştır. Nümerik kesme kuvveti sonuçları, her bir deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda kesme kuvvetinin artması ile deneysel ve nümerik çalışma arasındaki yakınsamanın arttığı görülmüştür (Çizelge 1.3) (Asad et al. 2008).

Çizelge 1.3 Nümerik ile deneysel arasındaki yüzdelik sapma (Asad et al. 2008).

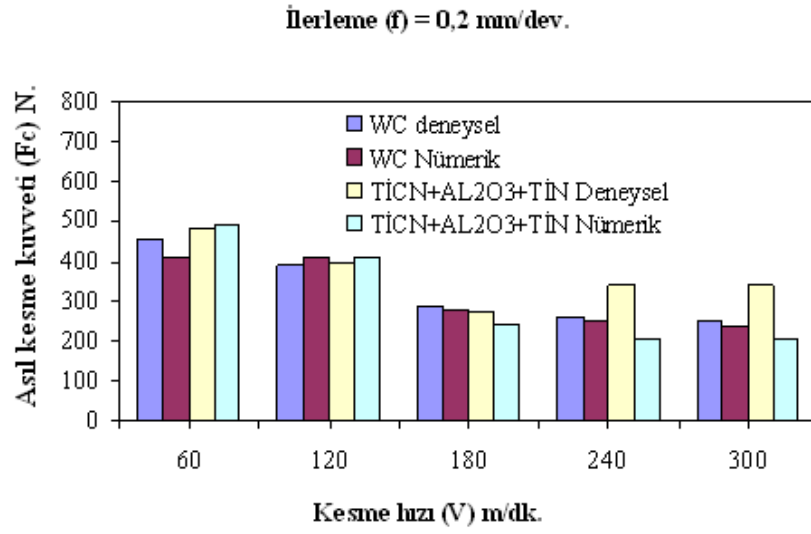
Vc (m/dak)	200	400	800
Fc (N) / Yüzdelik Sapma	898 N – 4%	994 N – 6%	901 N – 8%
Segmentasyon (kHz)	----	31.4 kHz – 3%	66.3 kHz – 2%

Özel ve Zeren (2004) yapmış oldukları çalışmalarında, Oxley tarafından geliştirilmiş bir malzeme kesme modeli kullanarak ortogonal kesme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca kesici uç çevresindeki birinci ve ikinci deformasyon bölgesindeki sürtünme ve iş parçası malzemesinin akma gerilmesini karakterize etmek için bir metot geliştirmişlerdir. Bu sürtünme modeli, kesme yüzeyi üzerindeki normal gerilme dağılımlarının tahmini esasına dayanmaktadır. Takım kesme yüzeyindeki bu dağılımlar, hem doğru bir şekilde sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında hem de takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin etkisini belirlemede kullanılmaktadır. Bu metot pratiktir ve hem iş malzemesi modelinin hem de kesme yüzeyi üzerindeki sürtünme modelinin bilinmeyenlerini tahmin etmektedir. Çalışmanın sonucunda geliştirilen metot ile ortogonal kesme deneylerini kullanarak AISI P20 kalıp çeliği ve AISI H13 sıcak iş takım çeliği için malzeme akma gerilmesi ve takım-talaş ara yüzündeki sürtünme parametreleri karakterize edilmiştir (Şekil 1.4).

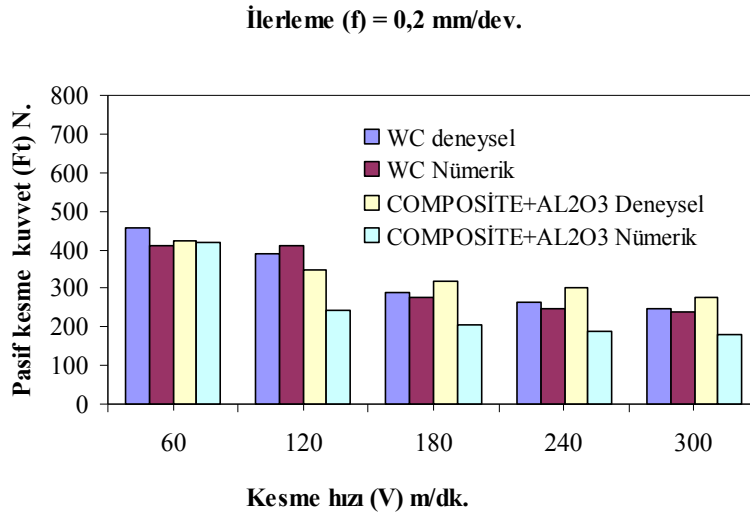


Şekil 1.4 Ortogonal kesme işleminde deformasyon bölgelerinde meydana gelen şekil değiştirme hızı (Özel ve Zeren 2004).

Apaydın (2009) yaptığı çalışmada, AISI 4340 malzemesinin tornalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak analizini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, farklı kesme parametreleri kullanılarak, kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlar ile işlenen AISI 4340 malzemesi üzerinden ortogonal kesme şartları altında kesme deneyleri yapılmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri Kistler 9257B marka dinamometre aracılığı ile ölçülmüştür. Nümerik modelleme için Deform-2D programı, malzeme modeli olarak da Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak takım üzerinde oluşan kesme kuvvetleri için elde edilen deneysel sonuçlar nümerik sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların büyük oranda örtüştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 1.5, 1.6).



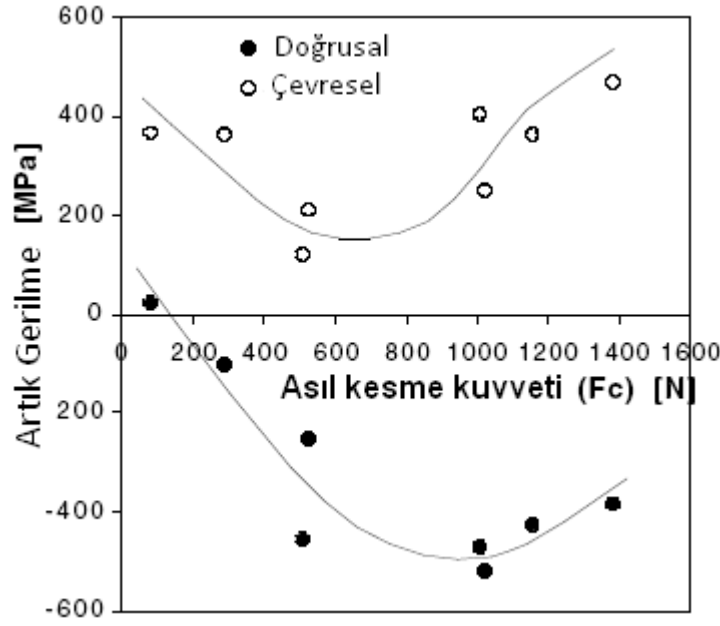
Şekil 1.5 WC ve TiCN+AL₂O₃+TiN kaplı kesici takım ile kesme hızlarının asıl kesme kuvveti üzerindeki etkisi (Apaydın 2009).



Şekil 1.6 WC ve TiCN+AL₂O₃+TiN kaplı kesici takım ile kesme hızlarının pasif kesme kuvveti üzerindeki etkisi (Apaydın 2009).

Outeiro ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada, AISI 316L çeliğin tornalanmasında ortaya çıkan artık gerilmeleri araştırmışlardır. Deneylerde, X ışını kırınım tekniği kullanılarak iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altındaki artık gerilmeler ölçülmüştür. Kesme kuvvetinin ortogonal bileşenleri bir piezoelektrik dinamometre kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak işleme esnasında oluşan artık gerilme değerlerini tespit etmek için, kesme deneylerindeki mekanik ve ısı olayların gelişimine istinaden

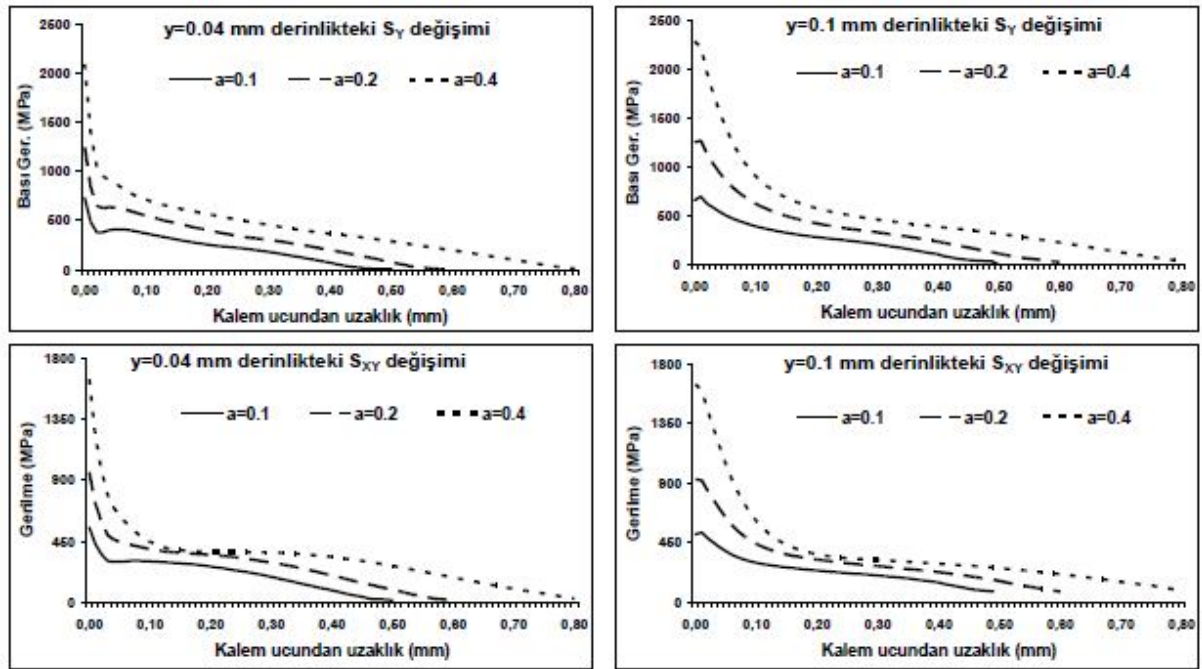
gerilmelerin analiz edilmiş olması gerektiği düşünülmektedir. Kesme derinliği söz konusu olduğunda ise kesme kuvvetleri ve artık gerilmelerin zıt eğilimlere sahip olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetlerinin artık gerilme oluşumunda önemli rol oynadığını deneysel sonuçlar göstermiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Ortogonal şartlarda kesme kuvvetine göre yüzeyel artık gerilmelerin değişimi (Outeiro et al. 2002).

Takım uç geometrisi kesme işlemi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü kesme kuvvetleri, sıcaklıklar, gerilmeler ve deformasyon bölgesine etkilidir. Artık gerilmeler üzerine yapılan diğer bir çalışmada Nasr et al. (2007), AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında takım uç radüsünün artık gerilmeler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Artan uç radüsü, hem çekme hem de basma bölgelerinde artık gerilmelerin artmasına neden olmuştur. İş parçası sıcaklığının uç radüsü ile arttığı görülmüştür: bu durum sürtünme nedeniyle ısı oluşumundaki artışa bağlanır, çünkü iş parçası ve takım ucu arasındaki temas bölgesi artmaktadır. Sonuç olarak, daha yüksek çekme artık gerilmeleri sınır yüzeyi yakınlarında oluşmuştur. AISI 316L'nin düşük ısı iletim katsayısı sürtünme ısısının etkisini yüzeye yakın bölgeler ile sınırlandırmış, bu yüzden çekme tabakası kalınlığı etkisiz kalmıştır (Nasr et al. 2007).

Kurt ve Şeker (2005) yaptıkları çalışmada, Al 2024 alüminyum alaşımı malzemenin ortogonal kesme işleminde, paso derinliğinin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkileri sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS paket programı kullanılarak analiz etmişlerdir. Sonlu eleman analizlerinde literatürden elde edilen kesme kuvveti değerleri ve takım-talaş temas uzunlukları kullanılmıştır. Analiz sonuçları, paso derinliklerinin hepsi için maksimum eşdeğer gerilmesinin yaklaşık olarak yuvarlatılmış kenarın orta noktasında gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 1.7). Bütün gerilmeler paso derinliğinin artması ile artmaktadır.



Şekil 1.8 $y=0.04$ mm ve $y=0.1$ mm derinlikte σ_y ve σ_{xy} gerilmelerindeki değişim (Kurt ve Şeker 2005).

Kalhari (2001) çalışmasında, ABAQUS ve SiMPle kodlarıyla yaptığı simülasyonlardan elde ettikleri kesme kuvveti ve artık gerilmelerin değişimini incelemiştir. Ayrıca, Kalhari iş parçası yüzeyindeki artık gerilmelerin bir önceki kesmeden kaynaklandığını bulmak ve bunun talaş oluşum sürecine etkilerini incelemek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Çalışmada AISI 316L paslanmaz çelik malzeme ve Sandvik Coromant TNMG 160408-QF Grade 235 kesici uçlar kullanılmış, kesme kuvvetleri Kistler marka dinamometre ile ölçülmüş ve simülasyonlardan elde edilen değerler ile

karşılaştırılmıştır (Çizelge 1.4). Talaş morfolojisini araştırmak için ani durdurma deneyleri gerçekleştirilmiş ve işlenen yüzeydeki artık gerilmeler belirlenmiştir. İkinci kesmedeki talaş oluşumu üzerinde birinci kesmedeki artık gerilme etkilerinin ihmal edilecek kadar az olduğunu ancak artık gerilmelerin ciddi bir şekilde etkilendiği gözlenmiştir (Çizelge 1.5).

Çizelge 1.4 Ölçülen ve simülasyonlardan elde edilen kesme ve ilerleme yönündeki kuvvetlerin karşılaştırılması (Kalhori 2001).

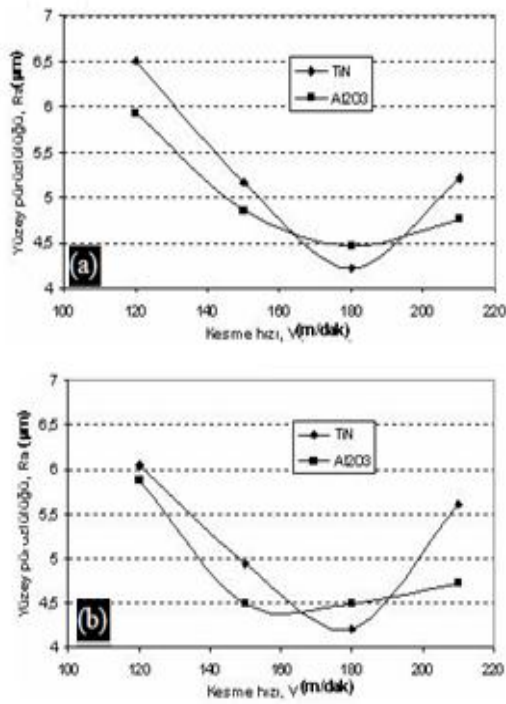
Test no.	Ölçülen		Simüle edilen SiMPle		Simüle edilen AdvantEdge	
	F_c [N]	F_f [N]	F_c [N]	F_f [N]	F_c [N]	F_f [N]
1	422	390	400	290	420	380
2	1005	729	780	400	860	470
3	404	360	450	330	425	375
4	890	584	780	400	840	460
5	391	357	430	320	420	375
6	857	520	770	390	845	475

Çizelge 1.5 İşlenen yüzey üzerindeki ölçülen ve nümerik olarak hesaplanan artık gerilmeler (Kalhori 2001).

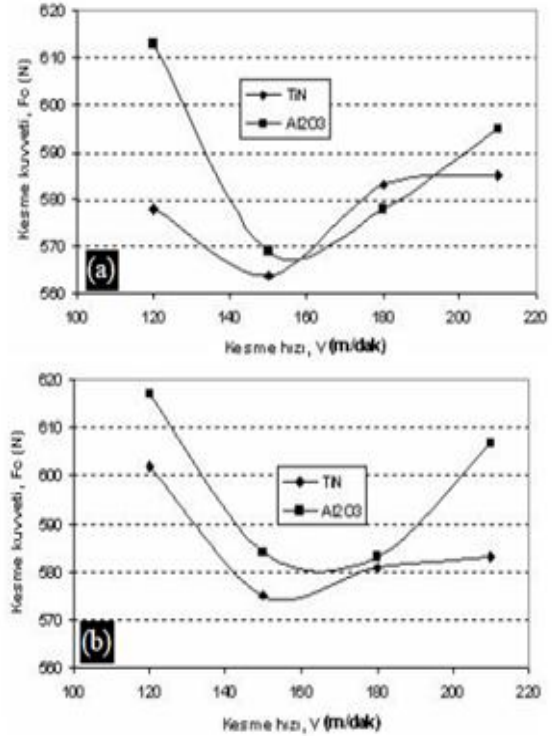
Deney no.	Ölçülen	Hesaplanan AdvantEdge σ [MPa]	Hesaplanan SiMPle σ [MPa]
	σ [MPa]		
1	361 ± 17	640	130
2	130 ± 9	179	200
3	629 ± 28	550	630
4	138 ± 8	164	600
5	703 ± 31	240	680
6	500 ± 25	171	690

Çiftçi çalışmasında, iki farklı kalitede östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla soğutma sıvısı kullanmadan işlenebilirlik deneyleri yapmıştır. Deneylerde, TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak) ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak yapılmıştır. İlerleme hızı 0,16

mm/dev ve talaş derinliği de 1,6 mm olarak alınmıştır. Deney sonuçları, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığı ancak yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür (Şekil 1.9). Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerleri belirli bir kesme hızı değerine kadar azalmış ancak bu değerden sonra artan kesme hızı ile artış eğilimi göstermiştir (Çiftçi 2006).



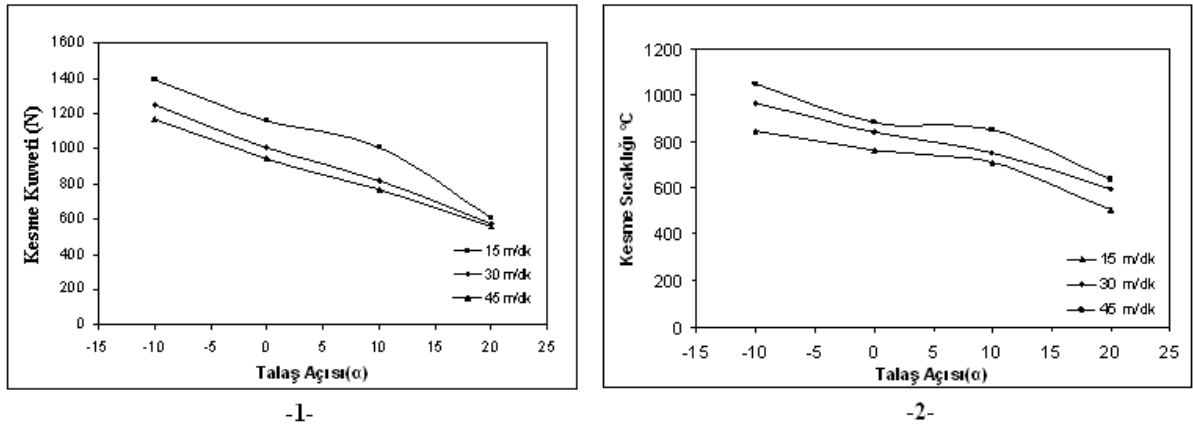
-1-



-2-

Şekil 1.9 1-) TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımlarla a) AISI 304 ve b) AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin 0,16 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına göre değişimleri 2-) TiC/TiCN/TiN ve TiCN/TiC/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımlarla a) AISI 304 ve b) AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin 0,16 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm talaş derinliğinde işlenmesi sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızına göre değişimleri (Çiftçi 2006).

Ucun ve Aslantaş (2007) çalışmalarında, Inconel 718 süper alaşımının işlenmesinde kesici talaş açısının farklı kesme hızlarında kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisini sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemişlerdir. Problemin çözümü için Deform-2D sonlu elemanlar paket programı kullanılmış ve ortogonal kesme koşulları dikkate alınmıştır. Nümerik modellemede üç farklı kesme hızı ve dört farklı talaş açısı için çözümler yapılmış diğer kesme parametreleri sabit alınmıştır. Sonlu eleman çözümlerinde Johnson-Cook akma gerilme modeli kullanılmış ve elde edilen kesme kuvveti sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

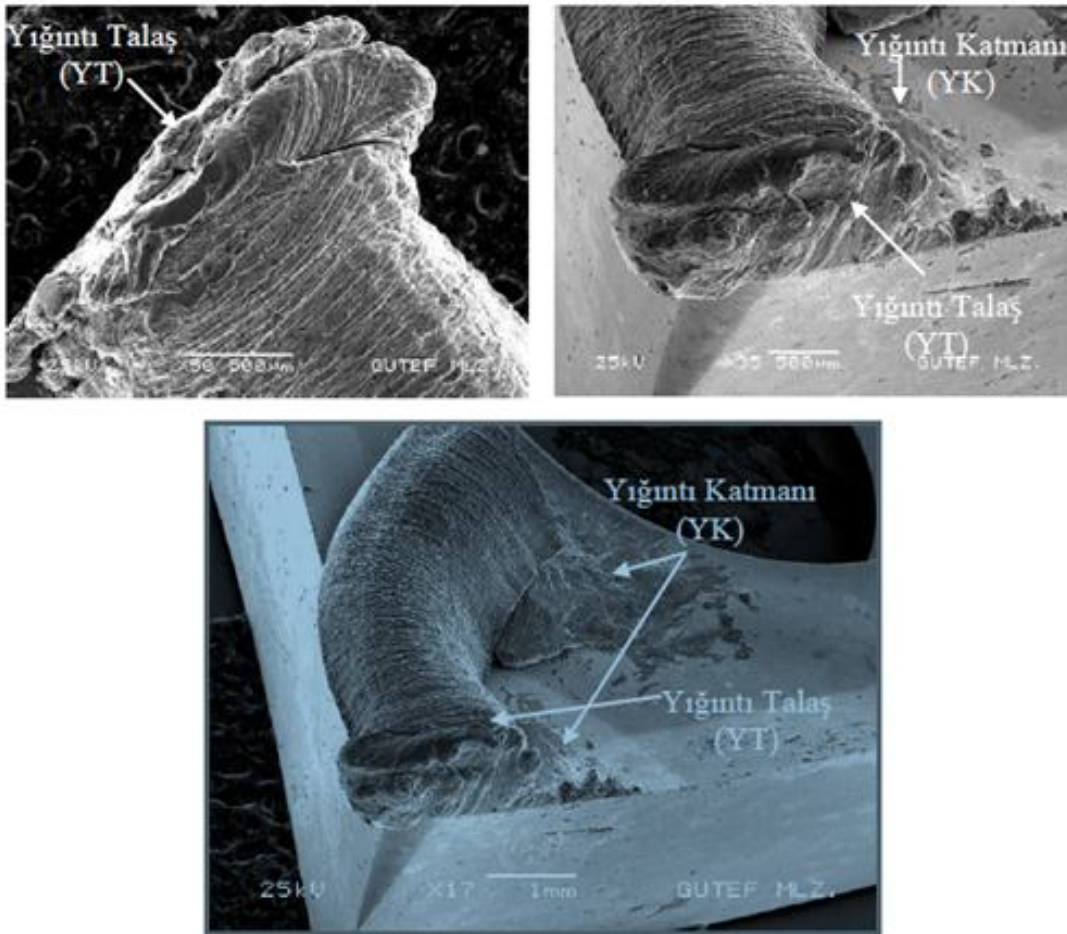


Şekil 1.10 1-) Her bir kesme hızında talaş açısına bağlı kesme kuvveti değerlerinin değişimi. 2-) Kesme hızı ve talaş açısına bağlı olarak kesme sıcaklığındaki değişim (Ucun ve Aslantaş 2007).

Yapılan nümerik çözümler, negatif talaş açısına sahip kesici takımında kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir (Şekil 1.10). Bunun nedeni ise; negatif açısının kesme sırasında talaşın iş parçasından ayrılmasını zorlaştırmasıdır. Pozitif olan talaş açısı kesme kuvvetlerinin azalmasına ve dolayısıyla kesme sıcaklığının da azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir (Ucun ve Aslantaş, 2007).

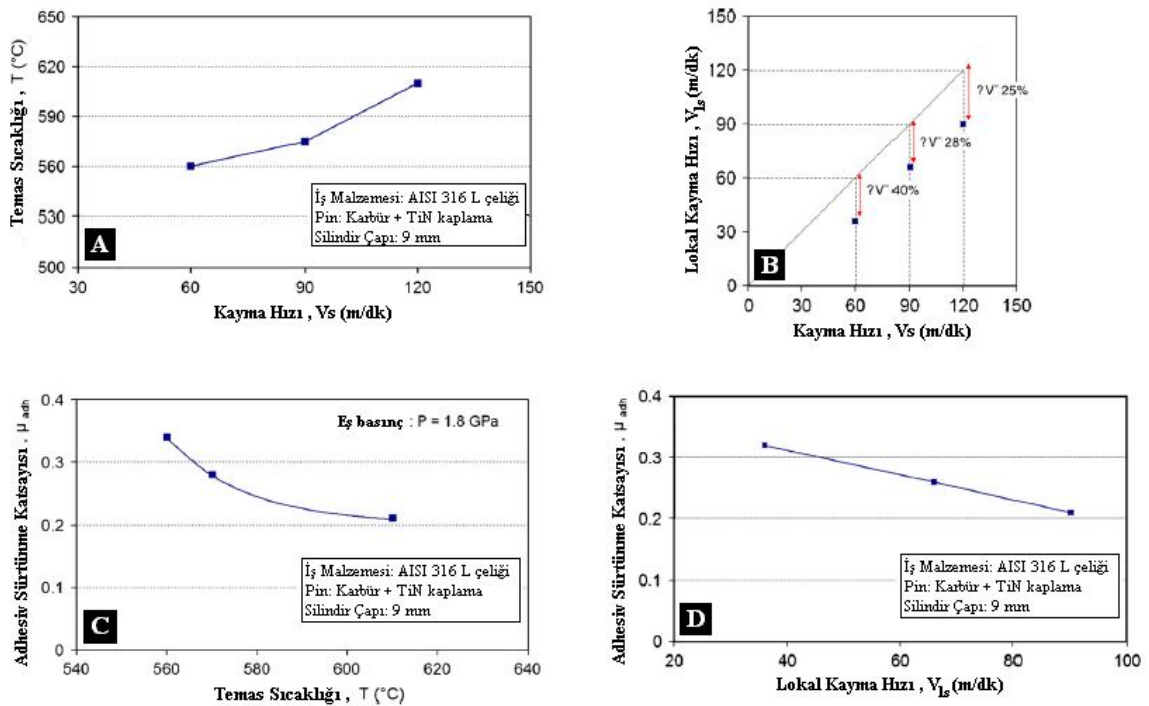
Gökkaya ve Nalbant yaptıkları çalışmada, işleme parametrelerinden kesme hızının Yığıntı Katmanı (Built-Up Layer) (YK) ve Yığıntı Talaş (Built-Up Edge) (YT) oluşumu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, AA5052 alaşımı; kaplamasız karbür

takımla bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) torna tezgâhında, kuru kesme şartlarında işlenmiştir. Deneylerde, beş farklı kesme hızı (100, 200, 300, 400, 500 m/dak), sabit ilerleme hızı (0,30 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1,5 mm) işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Talaş kaldırma işlemleri sonucunda, kesici takım üzerinde en fazla YK ve YT, 100 m/dak kesme hızı ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında yapılan talaş kaldırma işleminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.11). Kesme hızının artırılması YK ve YT oluşumunu azaltmış, fakat denenen sınırlar içerisinde YK ve YT oluşumu engellenememiştir (Şekil 1.11) (Gökkaya ve Nalbant 2007).



Şekil 1.11 AA5052 alaşımın kaplamasız karbür kesici takımla 100 m/dak kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde meydana gelen talaş yığılmasının SEM görüntüleri (Gökkaya ve Nalbant 2007).

Talaşlı imalatla, talaş-takım-iş parçası ara yüzündeki sürtünme olayının karakterizasyonu bir sorun olarak kalmaya devam etmektedir. Bonnet ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, TiN kaplı karbür takımlarla AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kuru kesme şartlarında bir sürtünme modelini tanımlamayı amaçlamışlardır. Basınç, sıcaklık ve kayma hızlarının ilgili değerlerine ulaşabilmek için yeni bir tribometre tasarlanmıştır. Çalışmanın sonucunda sürtünme katsayısının öncelikle kayma hızına daha sonra basınca bağlı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.12) (Bonnet et al. 2008).



Şekil 1.12 A) Kayma hızına göre temas sıcaklığı. B) Makroskobik kayma hızı ve lokal kayma hızı ortalamasının karşılaştırılması. C) Sıcaklığa bağlı olarak adhesiv sürtünme katsayısının değişimi. D) Lokal kayma hızına göre adhesiv kayma hızının değişimi (Bonnet et al. 2008).

Sürtünme olaylarının modellenmesi analitik ve nümerik modelleme için önemlidir. Valiorgue ve diğerleri (2008), sürtünmenin modellenmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Yüksek hız, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gibi zor şartları ölçmek için bir tribometre tasarlanmıştır. Bu deneysel kurulum, TiN ile kaplanmış bir karbür takım

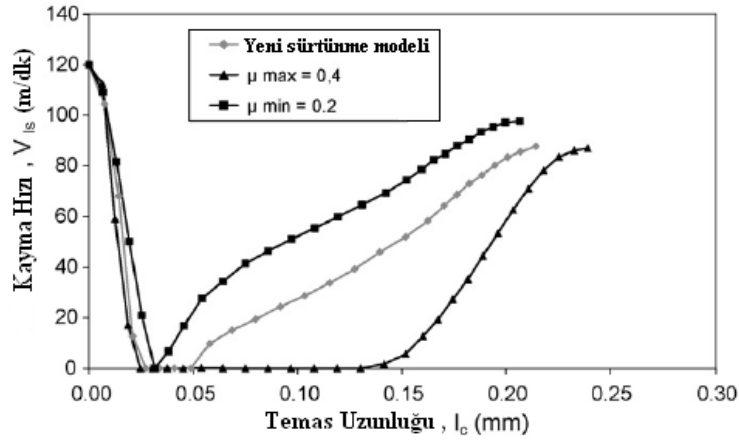
ile işlenmiş AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ile ilgili sürtünme olaylarını karakterize etmek için kullanılmıştır. Bu çalışma sürtünme katsayısı için yeni bir model belirlemede kullanılan bir yöntem sunmaktadır. Bu işlem iki adıma bölünmüştür. İlk olarak tribometre pimdeki indüklenmiş makroskopik kuvvetleri ölçmektedir. Bu büyük makroskopik sürtünme katsayısı aralıkları, pim üzerine uygulanan çeşitli kayma hızları ve kuvvetler ile elde edilir. Bu çalışmada, makroskopik sonuçları elde etmek için deneysel bir düzenek kullanılmış, nümerik model ABAQUS analiz programında uygulanmış ve tornalama işlemleri boyunca AISI 316L ve TiN kaplı karbür takımlar arasında oluşan sürtünme ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık ve basınca bağlı olan sürtünme modelinin, kesme operasyonlarının ve artık gerilmelerin daha kesin bir sonuç alacak şekilde modellenmesinde kolaylık sağlayacağı kanıtlanmıştır (Valiorgue et al. 2008).

Filice ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, son yıllarda araştırmacılar tarafından sunulan farklı sürtünme modelleri göz önünde tutularak, ortogonal kesmenin 2 boyutlu simülasyonu içine farklı bir sürtünme modeli uygulayarak oynadığı rol üzerine dikkatli bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarının tanımlanan en iyi model olup olmadığını doğrulamak için deneysel ölçümler ile karşılaştırılmıştır. İlk, mekanik değişkenlerle kıyaslanmış, sonra yukarıda belirtilen sürtünme modelleri kullanılarak sıcaklık tahminleri üzerine bir uygulama yapılmıştır. Bu birleşik deneysel ve nümerik çalışmanın sonuçları çalışmada dikkatli bir şekilde rapor edilmiştir. İş parçası malzemesi AISI 1040 çeliği ve kesici olarak da ISO P30 kaplamasız sementit karbür takım kullanılmıştır. Kesme hızı 100m/dak, ilerleme 0,1mm/dev ve kesme derinliği 3mm alınmıştır. Her bir modelden elde edilen sıcaklık değerleri Çizelge 1.6'da verilmiştir (Filice et al. 2007).

Çizelge 1.6 Takımdaki tahmin edilen sıcaklık değerleri (Filice et al. 2007).

Modeller	h (kW/m ² K)	T_{FEM} (°C)	e (%)
I ($m = 0.82$)	1000	560	3.32
II ($\mu = 0.4$)	10 000	551	1.67
III ($m = 0.5$; $\mu = 0.3$)	1 000 000	324	40.22
IV ($\mu = 0.2$)	10 000	443	18.27
IV ($\mu = 0.4$)	10 000	551	1.67
V	100	545	0.55

Bonnet ve diğerkleri yapmış oldukları çalışmada, sabit Coulomb sürtünme katsayısını esas alan standart modele benzeyen, lokal kayma hızına bağımlı olan yeni bir sürtünme modelini tanımlamışlardır. Arbitrary Lagrangian-Eularian (ALE) yaklaşımı tabanlı bir sonlu eleman tekniği ile AISI 316L paslanmaz çeliğin ortogonal şartlarda kesilmesini modellemişlerdir. Talaş kaldırmanın sürtünme modeline çok duyarlı olduğu görülmüştür. Takım-iş parçası-talaş ara yüzleri boyunca malzeme akışı sürtünme modelinin bir varyasyonu ile çok bozulmuştur. Sürtünme modelinin maksimum ve minimum sürtünme değerlerine göre karşılaştırılması Şekil 1.13’de verilmiştir. Geliştirilen sürtünme modeli kesme verilerinin belirlenmesinde daha yüksek verimlilik göstermiştir (Bonnet et al. 2008).

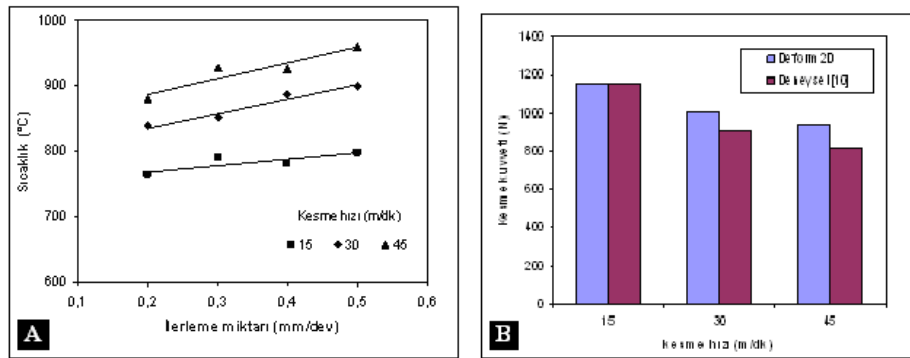


Şekil 1.13 Kayma hızı ara yüzüne sürtünme modelinin etkisi (Bonnet et al. 2008).

Son yıllarda metal kesme işlemi simülasyonu için sonlu elemanlar metodu esas araç olmuştur. Çünkü deneme yanılma esaslı araştırmalar zaman alıcıdır ve yüksek bütçe gerektirir. Patricia ve diğerkleri yapmış oldukları araştırmada, DEFORM-2D yazılımını kullanarak sertleştirilmiş AISI 52100 (62HRC) çeliğin işlenebilirliğini modellemişlerdir. Kesme kuvvetleri simülasyonlarının sonuçları deneysel kesme kuvveti verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür ve yüzey pürüzlülüğü üzerine gerilme, şekil değiştirme ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları aşağıda sıralanmıştır (Patricia et al. 2005).

- Kesme hızı arttırıldığında, kesme kuvvetleri hemen hemen aynı değerde kalmaktadır.
- Birinci deformasyon bölgesinde daha yüksek gerilme değerleri oluşmuştur.
- Daha yüksek şekil değiştirme ve sıcaklık değerleri ikinci deformasyon bölgesinde oluşmuştur.
- İlerleme hızı arttırıldığında gerilme ve sıcaklık değerleri de artmıştır.
- İlerleme hızı arttırıldığında şekil değiştirme azalmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü (Rt) gerilme ve sıcaklıktaki artış ile artmakta ve şekil değiştirmede ki azalma ile azalmaktadır.

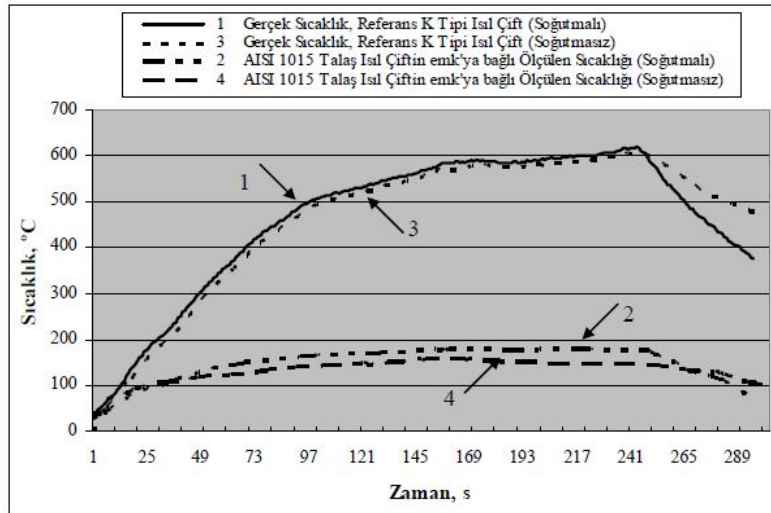
Ucun ve diğerleri yaptıkları çalışmada, kesme parametrelerinden ilerleme miktarının kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığına etkisini araştırmışlardır. Problemin çözümünde sonlu elemanlar tekniği kullanılmış ve iki boyutlu ortogonal kesme şartları dikkate alınmıştır. Çalışmada iş parçası malzemesi olarak Inconel 718 süper alaşım seçilmiştir. İş parçasına ait akma gerilmesi veri değerleri Deform2D içerisinde bulunan malzeme veritabanından alınmış ve sonlu elemanlar çözümü için Deform2D yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca oluşturulan sonlu eleman modelinin doğruluğunu ortaya koymak için nümerik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Ucun vd. 2007).



Şekil 1.14 A) Kesme sıcaklığının ilerleme miktarına ve kesme hızına bağlı olarak değişimi B) Elde edilen nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması (Ucun vd. 2007).

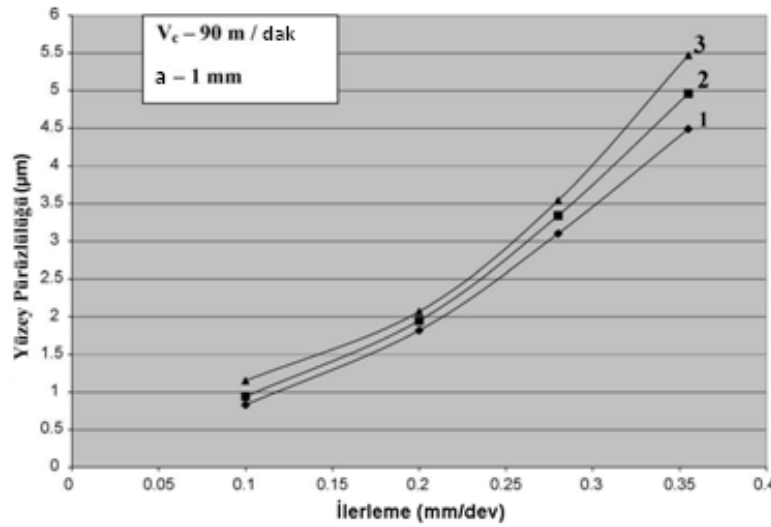
Oluşturulan sonlu eleman modelinde elde edilen kesme kuvvetleri deneysel verilerle oldukça yakın bir benzerlik göstermiştir. Aynı sınır şartları için yapılan çözümlerde, artan ilerleme değerine bağlı olarak kesme sıcaklığı ve takım yüzeyindeki sıcaklığın arttığı görülmüştür (Şekil 1.14). Bununla birlikte düşük kesme hızlarında, kesici uçtaki sıcaklık düşük olmasına rağmen, tesir ettiği alan daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır (Ucun vd. 2007).

Gökkaya vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada, kesme işlemi esnasında takım-talaş ara yüzeyinde oluşan sıcaklıkların ölçümü için kullanılan takım iş parçası ısı çift yönteminde, sıcaklık değerlerini olumsuz olarak etkileyen soğuk noktanın kararlı kalmasını sağlamayı amaçlamışlardır. Soğuk noktanın kararlı kalması için, kater içinden su soğutmalı sirkülasyon sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Geliştirilen sistemle uygulanan kalibrasyon işlemi sonucunda kalibrasyon katsayısında, soğutmasız sisteme göre % 15 daha yüksek bir katsayı elde edilmiştir (Şekil 1.15) (Gökkaya vd. 2006).



Şekil 1.15 Oksi-asetilen aleviyle ısıtılan kesici takım ucundaki sıcaklığın referans ve takım-iş parçası ısı çiftiyle ölçümünde zamana bağlı sıcaklık değişimi (Gökkaya vd. 2006).

Paslanmaz çelikler içerisinde en çok kullanılan ve bilimsel çalışmalara en çok konu olan malzeme türleri; AISI 304, 304L, 316 ve 316L östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler, geçtiğimiz birkaç yılda kullanılan paslanmaz çeliklerin toplamının %65-70'ini oluşturmaktadır. Östenitik kalitede kullanılan paslanmaz çeliklerden en fazla kullanılanları da 300 serisidir. Bu malzemelerin işlenmesinde sıklıkla işlenebilirlik problemleriyle karşılaşılır. Bu problemler işleme esnasında bu malzemelerde gerçekleşen deformasyon sertleşmesine atfedilir. Xavior ve Adithan yapmış oldukları çalışmada, kesme sıvısının AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin karbür takım ile tornalanması esnasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Şekil 1.16). Deneylerde kesme sıvısı olarak Hindistan cevizi yağı, saf kesme yağı ve suda çözünen kesme yağı kullanılmıştır. Tornalama işlemleri boyunca yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasında Hindistan cevizi yağının etkisini tanımlamak için birtakım deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Hindistan cevizi yağının diğer iki tür kesme sıvısından daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır (Xavior and Adithan 2009).



Şekil 1.16 Farklı kesme yağlarının ilerleme ve yüzey pürüzlülüğü değerleri (1) Hindistan cevizi yağı, (2) Çözölür kesme yağı ve (3) Saf kesme yağı (Xavior and Adithan 2009).

Gaitonde vd. tarafından yapılan çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliğin delinmesi esnasında çapak boyu ve kalınlığını minimize etmek amacıyla farklı kesme hızı, uç açısı ve kenar boşluk açısı için birtakım deneyler yapılmıştır. Bu minimizasyon işlemi için Taguchi optimizasyon tekniği tercih edilmiştir. Bu araştırma sonucunda ilerlemenin optimal gereksinimi düşük ile orta seviyede iken kesme hızları ve kenar boşluk açısı optimal değerlerinin test edilen matkap çapından bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çapak miktarını minimize etmek için daha büyük uç açısı ve daha büyük matkap çaplarının gerektiği belirlenmiştir (Gaitonde et al. 2008).

Çevresel hassasiyetten dolayı klasik olarak kullanılan yağ kökenli taşlama soğutma sıvılarının değiştirilmesi bu günlerde özellikle tavsiye edilmektedir. Birkaç alternatifi sunulmasına rağmen, sıvı nitrojen ile kriyojenik soğutma çok düşük sıcaklığı nedeniyle nispeten daha fazla dikkat çeken ve kirletici olmayan bir soğutma yöntemidir. Fredj ve Sidhom yaptıkları çalışmada, bu soğutma ortamının gelişmesine katkıda bulunmak için AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi üzerine yararlı etkileri ve yorulma dayanımı sonuçlarını araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, kriyojenik soğutma uygulanan taşlama işlemi ile yağ kökenli soğutma sıvısı ile yapılan taşlama işleminden daha düşük pürüzlülüğe, daha az kusura, daha yüksek iş parçası sertliğine ve daha az çekme kalıntı gerilmesine sahip yüzeyler elde edildiğini göstermiştir. Bu yüzey iyileşmelerinin bu soğutma şartlarında parça zemini yorulma davranışında önemli iyileşmeler sağlayacağı öngörülmüştür (Fredj and Sidhom 2006).

Tekiner ve Yeşilyurt (2004) çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesi esnasında en uygun kesme şartları ve kesme parametrelerinin belirlenmesinde ortamda oluşan sesi esas almıştır. Paslanmaz çeliğin işlenmesinde en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi için 30 mm çapında 200 mm uzunluğunda deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan numuneler CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Tornalama deneyleri üç farklı ilerlemede (0,2, 0,25, 0,3 mm/dev) ve beş farklı kesme hızında (120, 135, 150, 165, 180 m/dak) yapılmıştır. Deneyler esnasında ortamda oluşan ses, bilgisayara bağlanmış bir mikrofon aracılığıyla kaydedilmiştir. En iyi kesme hızı ve ilerleme değerleri, yanak aşınması, sıvanma aşınması, talaş biçimi, işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım tezgâhı güç tüketimine göre belirlenmiştir. İdeal kesme parametreleri ve kesme

esnasında oluşan sesler karşılaştırılmıştır. Bu şekilde en iyi kesme parametreleri sese bağlı olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak 165 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dev ilerleme en iyi sonuçlar olarak bulunmuş ve ortam sesinin analizleri bu değerleri doğrulamıştır (Tekiner ve Yeşilyurt 2004).

Yeyen yapmış olduğu çalışmada, AISI 303 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde, en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlamıştır. Bu araştırma kapsamında AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinde karşılaşılan problemler ve bu problemlere çözüm önerileri araştırılmakla beraber, AISI 304 ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. AISI 303 Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde optimum kesme parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesini ve AISI 304 tip çelik ile karşılaştırılmasını amaçlayan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmiştir (Yeyen 2006).

- AISI 304 ve AISI 303 kesme kuvvetleri açısından mukayese edildiğinde kesme kuvvetinde yaklaşık %19 artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- AISI 304 ve AISI 303 yüzey pürüzlülükleri açısından mukayese edildiğinde yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %51 artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- AISI 304 ve AISI 303 talaş biçimleri karşılaştırıldığında, talaş kıvrım yarıçapında yaklaşık % 71 artışın meydana geldiği, Talaş kalınlığında ise % 9 düşüş gözlemlenmiştir.

Balcı (2008) tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliğin tornalama yöntemiyle işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Dört farklı uç yarıçapına sahip kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak işleme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, farklı ilerleme hızları ve talaş derinliklerinde soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değerine (Ra) etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan kesici takım uç yarıçapının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği görülmüştür. 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımla genellikle en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken 0,4 mm silici kesici uç geometrisine sahip kesici takımla da en yüksek

yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme hızlarında kesici takım uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 1.7 AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliğin kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalanması ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) (Balcı 2008).

Kesme Hızı	Talaş Derinliği	İlerleme	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra Ort.) (µm)			
			0,4N	0,4W	0,8N	1,2N
150	0,5	0,05	1.103	3.810	0.936	2.639
		0,1	0.892	0.719	0.899	1.011
		0,15	1.156	2.991	1.066	0.722
	1	0,05	0.668	5.554	1.123	2.514
		0,1	0.785	4.276	5.713	1.060
		0,15	1.113	0.917	0.729	0.662
	1,5	0,05	0.922	3.463	2.497	2.292
		0,1	0.709	0.479	1.000	2.851
		0,15	1.115	3.189	0.940	0.687
180	0,5	0,05	1.314	4.297	0.366	1.280
		0,1	0.776	4.903	0.451	2.677
		0,15	1.038	0.557	0.833	1.012
	1	0,05	1.142	1.618	1.744	4.643
		0,1	1.426	2.021	2.283	3.284
		0,15	1.315	1.265	0.871	0.522
	1,5	0,05	1.426	2.021	2.283	3.284
		0,1	0.554	0.362	0.852	1.332
		0,15	1.173	1.720	0.688	0.917

Düşük ısı iletkenliği ve kesici takıma sıvanma eğilimlerinden dolayı işlenebilirliği oldukça zor olan östenitik paslanmaz çelikler üzerine literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, kesici takım gerilmeleri, kayma sürtünme faktörü ve kalıntı gerilmelerin deneysel ve nümerik çözümlemeleri üzerine yoğunlaşmış ve öncelikli olarak deneysel ve nümerik sonuçlar arasında maksimum yakınsama elde edilmek istenmiştir. Çünkü deneme yanılma yöntemiyle yapılan araştırmalar zaman alıcı ve yüksek maliyet gerektiren çalışmalar olduğundan maksimum yakınsamanın sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilmesi ve buna bağlı olarak en uygun kesme şartları ve parametrelerinin belirlenmesi son derecede önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada AISI 316L paslanmaz çeliğin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve kesici takım gerilmeleri analiz edilmiş ve en uygun kesme şartları ve parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelik malzemeler özellikle tıp, havacılık, nükleer, savunma ve gıda sanayinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmaları kendi içerisinde deneysel, nümerik ve hem deneysel hem nümerik olmak üzere sınıflandırılabilir. Yapılan çalışmalar genellikle en uygun kesme parametrelerini tespit etmeye yönelik olmuştur. Bununla birlikte, geliştirilen malzeme modelleri de kullanılarak, yapılan nümerik çalışmalardan elde edilen sonuçlar deneysel verilerle oldukça benzerlik arz ettiği gözlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında, hem kullanılan malzemeye hem de materyal ve metoda yönelik yapılmış önceki çalışmalarla birlikte paslanmaz çeliklerin genel özelliklerine yer verilmiştir.

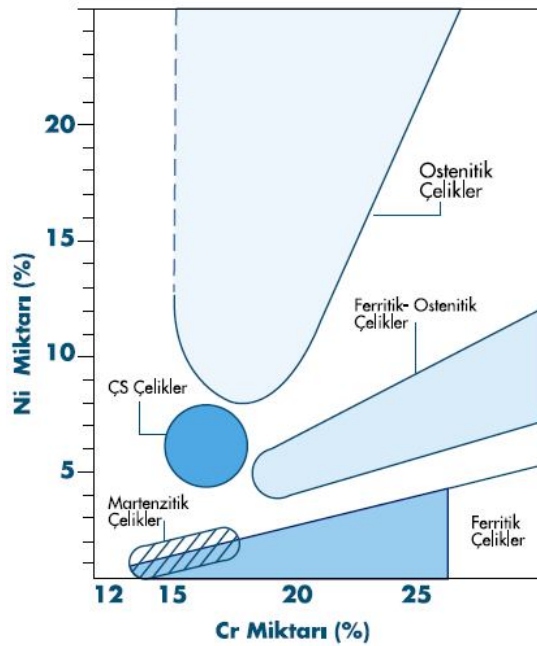
2.1 Paslanmaz Çelikler

Korozif etkilere karşı dayanıklı olmaları birçok sektörde paslanmaz çeliklerin kullanımını ön plana çıkarmıştır. Normal alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin korozyona karşı dayanıklı olmamaları bu tür çelikleri ikinci plana atmıştır. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeyi kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilere (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, artık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Dünya genelinde yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir (Aran ve Temel 2004).

2.1.1 Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükselttilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları farklı kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. (Şekil 2.1) Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Östenitik
- Ferritik-Östenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar



Şekil 2.1 Farklı paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) (Aran ve Temel 2004)

Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde % 95'e ulaşır. Paslanmaz çelik türleri içerisinde 304 kalite östenitik paslanmaz çelik içerisine farklı elementler ilave edilerek diğer türlerin oluşmasında aracı olmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel 2004).

2.1.1.1 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunursa, içyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olur. Östenitik çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir. Östenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklere, östenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısı işlemleri uygulanmaz, mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik çeliklerin payı % 70'tir ve aralarında en çok kullanılan 304 kalitedir (Aran ve Temel 2004).

Başlıca Özellikleri:

- Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilirler.
- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaydır.
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilir.

Bazı Kullanım Alanları:

Makine ve imalat sanayinde çeşitli uygulamalar, asansörler, bina ve dış cephe kaplamaları, mimari uygulamalar, gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, kimya tesisleri ve ekipmanları, bilgisayar klavye yayları (Aran ve Temel 2004).

2.1.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bunlar düşük karbonlu ve %12 – 18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir.

Başlıca Özellikleri:

- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işlemle dayanım artırılmaz ve sadece tavllanmış durumda kullanılır.
- Manyetikler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.

Bazı Kullanım Yerleri:

Mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil şasi parçaları, egzoz elemanları, sıcak su tankları.

2.1.1.3 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Karbon miktarı % 0,1 den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar. Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavllanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavllanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek farklı özellik kombinasyonları elde edilebilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısıl işlem sıcaklıklarına uyulması çok önemlidir (Aran ve Temel 2004).

Başlıca Özellikleri

- Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler.
- Isıl işlem uygulanabilir, böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Manyetikler.

Bazı Kullanım Alanları:

Bıçaklar, ameliyat aletleri, miller, pimler

2.1.1.4 Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bunlar, yüksek oranda krom (%18–28) ve orta miktarda nikel (%4,5–8) içeren çeliklerdir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yetersizdir. Ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapı nedeniyle çelikler dubleks olarak adlandırılır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5–4 molibden içerir. Bunlar hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlarlar. Ayrıca korozyif ortamlarda dahi çok uygun yorulma dayanımları vardır. Tavsiyelere dikkat ederek uygulanması halinde kaynak yapılması kolaydır. Genellikle kimyasal aparat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya liman teknolojisinde kullanılır (Aran ve Temel 2004).



Şekil 2.3 Östenitik ve ferritik paslanmaz çelik türlerinin içyapıları (Aran ve Temel 2004).

Başlıca Özellikleri:

- Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptirler.
- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek koroziyon dayanım gösterirler.
- Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım gösterirler.
- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır.

Bazı Kullanım Alanları:

Deniz ve tuzlu su ortamında, ısı değiştiricilerinde, petrokimya tesislerinde kullanılır.

2.1.1.5 Çökeltme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MPa'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı görmüş halde satılır; Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir (Aran ve Temel 2004).

Başlıca Özellikleri:

- Orta ila iyi derecede korozyon dayanımı vardır.
- Çok yüksek mekanik dayanım gösterirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri iyidir
- Manyetikler.

Bazı Kullanım Alanları:

Pompa ve vana şaft malzemesi olarak kullanılırlar.

2.1.2 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik, iş parçasının işlenebilme kabiliyetidir, iş parçasının şekillendirmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısı-ışıl işlem özelliği vb. bütün bu değişkenler işlenebilirliği etkiler. Pratikte farklı uygulamalar için farklı işlenebilirlik kriterleri ortaya çıkabilir. Herhangi bir malzeme bir kritere göre iyi işlenebilirlik özelliğine sahipken, farklı tür işlemler yapıldığında, kesme şartlarından kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme sıvıları, soğutma ile işleme tipi, rijitlik, titreşim, takım geometrisi ve takım malzemeleri değiştiği zaman kötü işlenebilirlik özelliği gösterebilmektedir (Şahin 2000).

Krom, paslanmaz çeliğin bir temel ögesi olup malzemenin yüzeyinde krom oksit filmi oluşturarak paslanmaz çeliği korozyondan korur. Karbon muhtevası yeterince yüksek olduğu zaman paslanmaz-krom çelikleri karbon çelikleri gibi sertleştirilebilir. Paslanmaz çelikler kroma ek olarak molibden, bakır, titanyum, silikon, manganez, alüminyum, nitrojen ve sülfür gibi diğer alaşım elementlerini de ihtiva eder. Bu elementler malzeme yapısını değiştirmek, korozyon direncini ve diğer özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Başlıca mukavemet olmak üzere bazı özellikler doğrudan malzeme yapısına bağlıdır (Anonim 1994, Şahin 2000).

Paslanmaz çeliklerin yüksek çekme mukavemetine sahip olması da işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Akma ve kopma noktaları arasındaki uzaklık normal karbonlu çeliklere göre daha fazladır. Dolayısıyla paslanmaz çelikler işlenirken, normal karbon çeliklere göre daha fazla kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır (Mills and Redford 1983).

Östenitik ve ferritik/östenitik birçok paslanmaz çelik için bir düşük, bir de yüksek kesme hızı aralığı mevcuttur (40–90 m/dak ve 180–400 m/dak). Bu değerlerin arasındaki kesme hızı değerleri yığılma kenar oluşumunun gerçekleştiği değerlerdir. Genellikle paslanmaz çelik içerisindeki alaşım miktarı arttıkça işleme o derece zorlaşır ve işleme maliyeti o derece artar. Malzeme özellikleriyle ilgili (örneğin korozyon direnci) talepler bazı uygulamalarda işlenebilirliği arttıran katkı malzemelerinin (Si, Pb

gibi) miktarını sınırlar. Talaşlı imalat alanında özellikle paslanmaz çeliklerin işlenmesi hususunda son derece yararlı olacak bazı temel tavsiyeler mevcuttur. Bu tavsiyeler aşağıda verilmiştir (Çakır 2006).

- Rijit bir takım tezgâhı seçilmelidir. Tezgâhın tabanının düzgün ve sert olması ve iş milinin kalitesi son derece önemlidir. Uzun çubukların işlenmesi esnasında yeterli rijitlik sağlanmalıdır.
- Takım ve iş parçası bağlama sistemi mümkün olduğunca rijit olmalıdır. Minimum bir efektif uzunluğa sahip takım ve yüksek mukavemete sahip bir bağlama elemanı kullanımı tavsiye edilir.
- Köşe radüsü uygulamaya göre seçilmelidir. Radüsün gereğinden büyük olması titreşime neden olacaktır, daha küçük ancak yeterince dayanıklı bir köşe radüsü daha iyi bir talaş kontrolü ve daha küçük kesme kuvvetleri sağlar.
- Kesici kenar için yeterince dayanıklılık ve iyi bir keskinlik sağlayan bir kesme geometrisi kullanılmalıdır.
- Yeterince büyük bir pozitif talaş açısına ve büyük boşluk açısına sahip takımlar kullanılmalıdır. Keskinliğin kaybolmaması için küçük kenar yuvarlatmaları daha uygun olabilir.
- Kaba talaş kaldırma işlemlerinde kesici kenarın güçlendirilmesi amacıyla pah kırma işlemi yapılacaksa mümkün olan en küçük pah kırılmalıdır.
- Tornalama işleminde kesme bölgesinde oluşan ısının ortamdan uzaklaştırılması için doğru kesme sıvısı, bol miktarda kullanılmalıdır.
- Talaş yüzeyi ile talaş arasındaki sürtünmeyi, temas yüzeyini en aza indirecek bir kesici uç geometrisi seçilmelidir.
- Kaba talaş kaldırma işlemlerinde düşük talaş derinliklerinde ve ilerlemelerde, yüksek kesme hızlarıyla çalışmak yerine büyük talaş derinliklerinde ve ilerlemelerde, düşük kesme hızlarıyla çalışılmalıdır.
- Kaba veya yarı ince işlemlerde, ince işlemler esnasında takımın deformasyon sertleşmesine uğramış bölgenin altına nüfuz etmesine izin verecek miktarda bir işleme payı bırakılmalıdır.
- Paslanmaz çeliklerin tornalanmasında ve frezelenmesinde sermetler uygun bir seçenek olarak dikkate alınmalıdır.

3. KESME İŞLEMİNİN SONLU ELEMANLARLA MODELLENMESİ

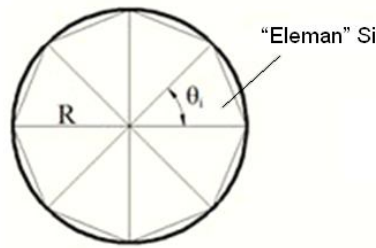
Sonlu Elemanlar Metodu (SEM), çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal bir çözüm yöntemidir. Bu metotta, ele alınan mühendislik probleminin çözüm bölgesi alt bölgelere ayrıştırılır ve her alt bölgede aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilmektedir. Belirli işlemlerle, her alt bölgede polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılmaktadır. Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrılabilen ve farklı sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerektiğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir. Böylece, geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlanmaktadır. Bir sistem için SEM kullanıldığında, ilk olarak fiziksel problemin matematiksel modeli kurulmakta veya hazır alınmaktadır. Daha sonra, ele alınan probleme ait varyasyonel formülasyon kurulup, çözüm bölgesi sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrıştırılmaktadır. Bu işleme *ayrıklaştırma* veya *sonlu eleman ağı (mesh)* adı verilmektedir.

SEM, farklı ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilmekte ve anizotropik, nonlinear, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleriyle işlem yapabilmektedir. Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dahil edilebilmektedir. SEM matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir. Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur. Bunlara rağmen, bazı problemlere uygulanmasında zorluklar yaşanmakta, elde edilen sonucun doğruluğu her zaman verilerin doğruluğuna bağlı olmaktadır (Aydın 2009).

Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayırır. İkinci olarak, her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan

değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin, problemin çözümünde yeterli olmasıdır (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirilerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir (Topçu ve Taşgetiren 1998). Kısaca problemi parçalara ayırarak basitleştir ve öyle çöz mantığından hareketle geliştirilmiş bir problem çözüm tekniğidir. İşlemin daha rahat anlaşılması için Şekil 3.1’de bir dairenin alanının bulunması için elemanlara bölünmesi gösterilmiştir (Esner 2006).



Şekil 3.1 Dairenin sonlu sayıda elemana bölünmesi (Topçu ve Taşgetiren 1998).

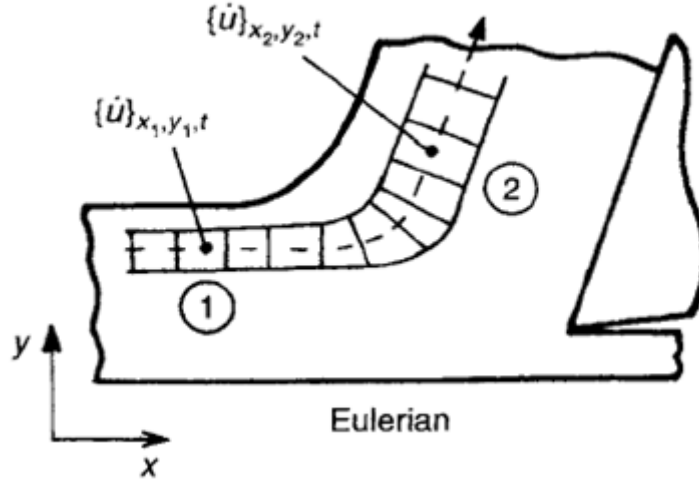
$$\text{Üçgenin alanı: } S_i = \frac{1}{2} R^2 \sin \theta_i \quad (3.1)$$

$$\text{Dairenin alanı: } S_N = \sum_{i=1}^N S_i = \frac{1}{2} R^2 N \sin \left(\frac{2\pi}{N} \right) \rightarrow \pi R^2 \quad N \rightarrow \infty \quad (3.2)$$

3.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kullanımı

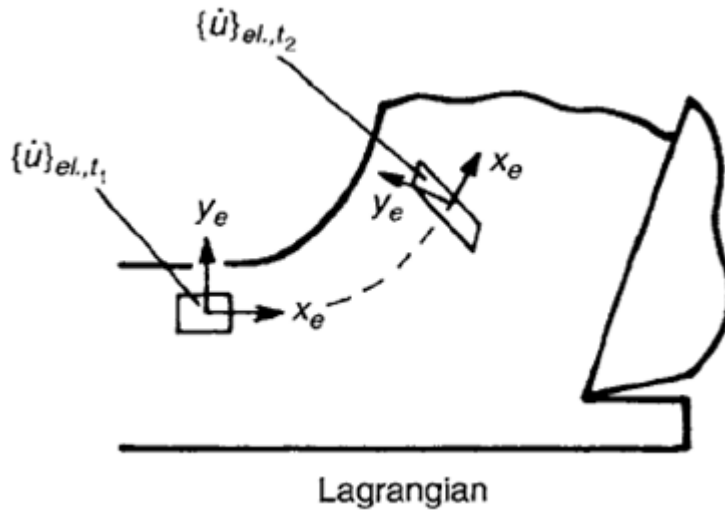
Eulerian yaklaşımı; Bu yaklaşımda sonlu eleman ağı (mesh) sabittir. Mesh yapısında zaman içinde bozulma veya çarpılma olmadığından, yeniden mesh üretimi gerçekleştirilmemektedir. Fakat bunun yapılabilmesi için talaş şeklinin önceden tanımlanması gerekmektedir. Bu yöntem kararlı kesme prosesi (steady 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.



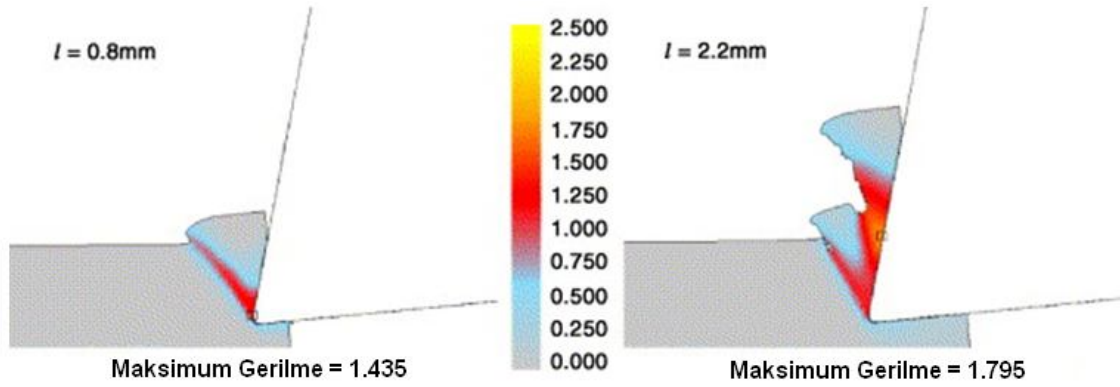
Şekil 3.2 Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Eulerian yaklaşımı.

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.



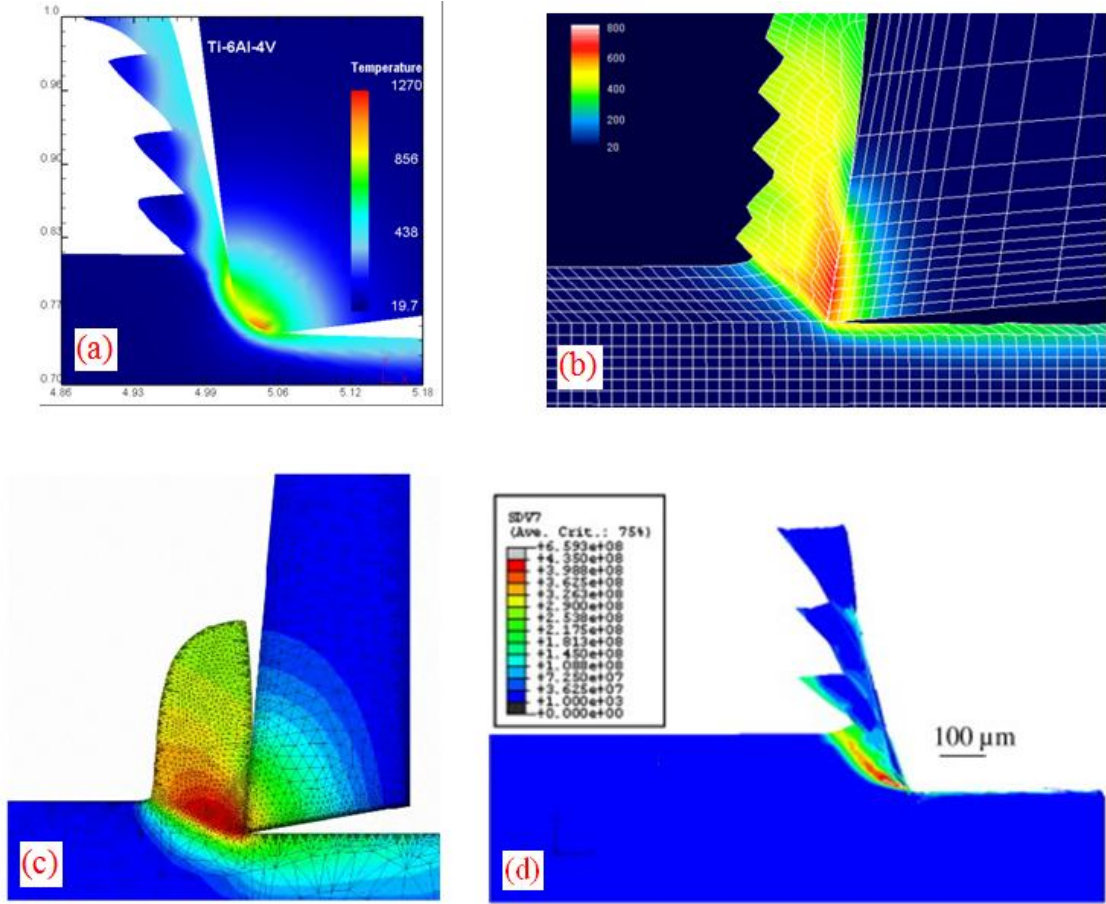
Şekil 3.3 Ortogonal kesme işleminin modellenmesindeki Lagrangian yaklaşımı.

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 (Rhim and Oh 2006).

Ortogonal kesme işleminin modellenmesinde çoğunlukla kaplanmış kesici takımlar tercih edilmiştir. Buna karşın son birkaç yıl içerisinde kaplamanın da etkisini modellemeye yönelik çalışmalar göze çarpmaktadır (Leopold et al. 2006, Yen et al. 2004). Yapılan bu çalışmalarda tek kaplama etkisinin yanı sıra çoklu kaplamanın etkisi de incelenmiştir. Şekil 3.5’de metal kesme işleminin simüle edilmesinde kullanılan yazılımların kullanıldığı çalışmalardaki sonlu eleman modelleri verilmiştir.



Şekil 3.5 Bazı ticari ve özel yazılımlar kullanılarak ortagonal kesme işleminin modellenmesi: a) Deform 2D (İnt.kyn.1) b) (İnt.kyn.2) c) AdvantEdge FEM (İnt.kyn.3) d) (Anurag et al. 2009).

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

$$[K][U] = [F] \quad (3.3)$$

Burada [K] global rijitlik matrisi, [U] deplasman vektörü ve [F] ise yük vektörüdür. Fakat talaş kaldırma işlemi zamana bağlı bir dinamik modelleme gerektirdiği için (3.4) nolu ifade;

$$[F_{(t)}] = [K][U] + [M^1][\dot{U}] + [M^2][\ddot{U}] \quad (3.4)$$

şeklini alır. Burada M1 sönüm matrisi, $\dot{U}$ Düğüm hız vektörü M2 kütle matrisi; $\ddot{U}$ düğüm ivme vektörüdür. Deform 2D yazılımı malzemeye ait mekanik ve termal özellikler girilip, sınır şartları uygulandığında yukarıdaki (3.4) nolu denklem çözülmüş olup her bir düğümdeki yer değiştirmeler elde edilmektedir.

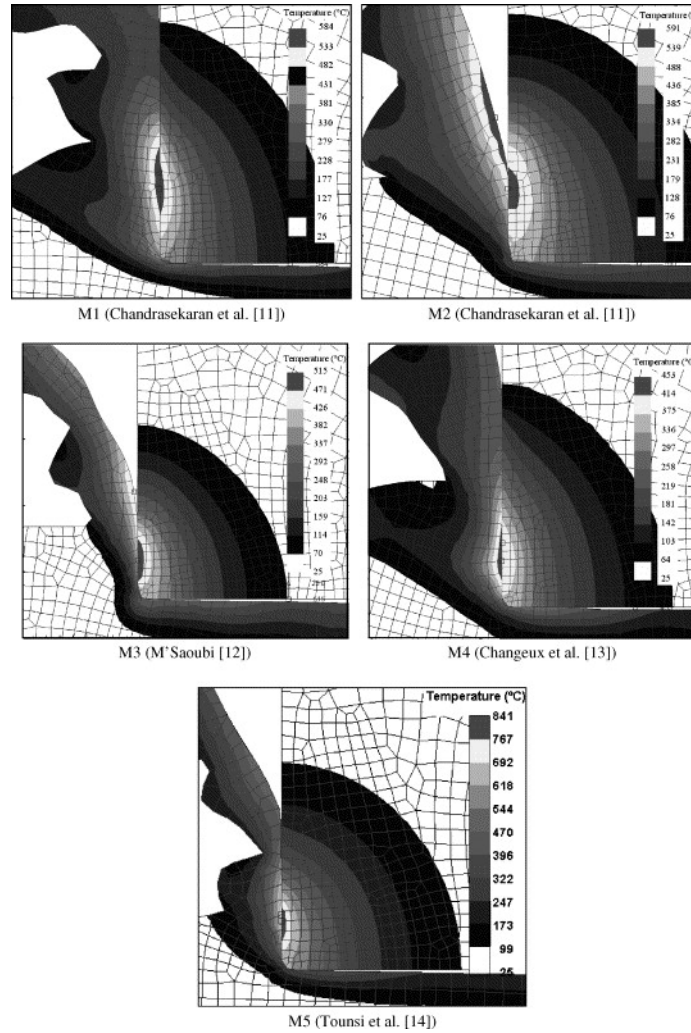
3.2 Nümerik Modellemede Malzeme Modelinin Önemi

Talaş kaldırma işleminin modellenmesinde deneysel veriler ile yüksek oranda yakınsama sağlayabilmek için malzeme özelliklerinin çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Aksi taktirde nümerik modellemenin doğruluğunu kanıtlamak çok zordur. Bu malzeme özelliklerini tanımlarken malzemenin hem mekanik hem de termal özelliklerinin dikkate alınması gerekir. Malzeme modeli oluştururken malzemelerin kesme sırasında ortaya çıkan şekil değiştirme hızları da dikkate alınmalıdır. Kesme parametrelerine ve sıcaklığa bağlı olarak yüksek şekil değiştirme hızlarına sahip iş malzemelerinin modellenmesinde bu malzemelerin davranışlarını ifade eden modellerin kullanılması gerekmektedir.

Kesme işleminin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan iki malzeme modeli vardır. Bunlar Oxley (Oxley 1989) ve Johnson-Cook (Johnson and Cook 1984) tarafından geliştirilen malzeme modelleridir. Oxley'in akma gerilmesi verileri % 0.52'ye kadar karbon içeren çeliklerin modellenmesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla Oxley'in teorisi yüksek karbon çelikleri ve alaşımlar için uygun değildir. Oxley'in teorisinin kısıtlı olmasından dolayı Johnson-Cook kesme teorisi daha geniş kullanım alanına sahiptir. Johnson-Cook modeli pek çok malzemenin yüksek hızlardaki deformasyonları için uygulanabilir. Bu model farklı sıcaklık ve farklı şekil değiştirme hızları için elde edilen gerilme-şekil değiştirme veri değerlerini içermektedir. Johnson-Cook modeline göre akma gerilmesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\bar{\sigma} = \left[A + B(\bar{\epsilon})^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (3.5)$$

Burada $\bar{\sigma}$ malzemenin akma gerilmesi, $\dot{\bar{\epsilon}}$ şekil değiştirme hızı, $\dot{\bar{\epsilon}}_0$ 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 termal yumuşama katsayısı, 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). Kesme sıcaklığının nümerik olarak iyi tahmin edilebilmesi için oluşturulan malzeme modelinin de kesme şartlarına uyumlu olması gerekmektedir. Şekil 3.6’da malzeme modelinin talaş oluşumuna ve kesme sıcaklığına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.6 Farklı malzeme modelleri için elde edilen sıcaklık dağılımları (Umbrello et al. 2007).

4. TALAŞ KALDIRMA İŞLEMİNİN MEKANİĞİ

Talaş kaldırma işlemleri, tek uçlu veya çok uçlu kesici takımlar kullanılarak mekanik parçaların son halini elde etmek için, bir iş parçasından malzeme kaldırma olarak tanımlanabilir. Talaş kaldırma mekaniğinde, talaş oluşum işlemleri ile iş parçasından malzeme kaldırılır (Oxley 1989). Talaşın oluşması için; kesici olarak kullanılan bir takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı daha dirençli olması, talaş derinliği ve ilerlemeyle birlikte iş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip olması gereklidir. Bunun yanı sıra iş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi hareketin oluşmasıdır. Bu şartlar var olduğu sürece, işlenecek malzemedan takım talaş yüzeyi aracılığı ile talaş oluşturmak için malzemenin bir kısmı kaldırılacaktır (Şahin 2000). Başka bir deyişle, talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde, taslak) üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan Talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylar meydana gelen, karmaşık bir fiziksel olaydır.

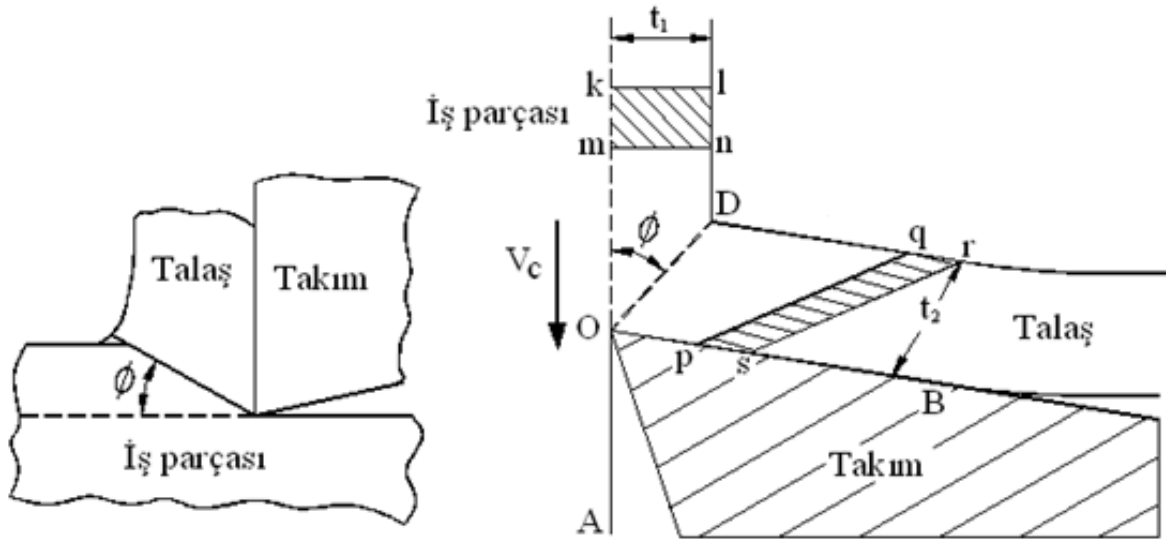
4.1 Talaş Kaldırma Teorileri

İmalat sanayinde malzemelerin verimli şekilde işlenmesi sadece kesilen malzeme hakkında değil aynı zamanda farklı şartlar altında, kesici takım malzemesi, kesici şekli ve nasıl yapılacağı hakkında da bilgi gerektirir. Son 20 yıldan beri birçok yeni takım malzemeleri ve takım tezgâhları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızlarında çalışma imkânı sağlanmış ve bunlar da üretim artışına yol açmıştır. Bütün bu faktörler dikkate alındığında takım tezgâhları ile talaş kaldırma teorisi ve uygulama alanı sürekli araştırılmaktadır (Şahin 2000).

Talaş kaldırma analizleri ile ilgili detaylı çalışmalar, talaşta farklı gerilme ve uzama ile neticelenen birkaç bilinen modelin var olduğunu göstermektedir (Astakhov and Shvets 2004).

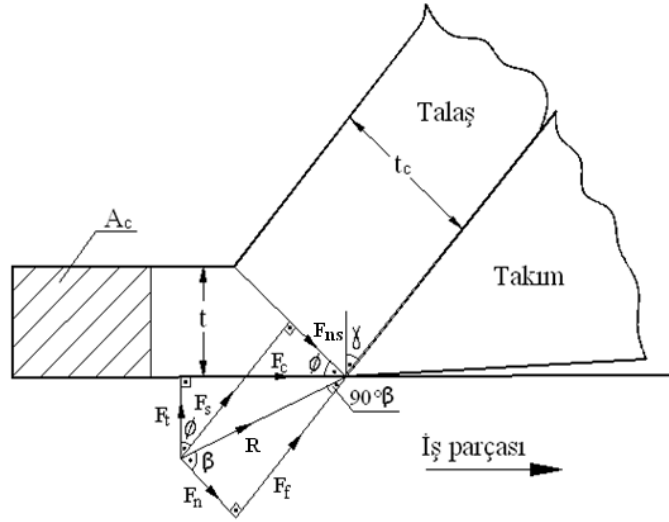
4.1.1 Ernst, Merchant ve Pispaen Yaklaşımı

Bu yaklaşımlar, talaş kesici takım önünde kesici kenardan iş parçası yüzeyine uzanan yaklaşık tek bir düzlem ile sınırlanan kayma işlemi ile oluşacağını dikkate alır (Şahin 2000). Bu yaklaşım sadece sürekli talaş tipleri için geçerli olup diğer tür talaşlara bu yaklaşım denenmemiştir. Merchant, talaş kaldırma mekaniğine dayanarak hassas geometride ideal talaş oluşum kavramını çıkarmış ve bu model Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Merchant'ın ideal talaş oluşum modeli (Şahin 2000).

Bu yaklaşım detaylı olarak incelenecek olursa; takımın kesme kenarına etkiyen bileşke kuvveti (R) ve bunun kayma düzlemi boyunca ve buna dik doğrultudaki bileşenleri (F_{ns} ve F_s); takım yüzeyi boyunca ve buna dik doğrultudaki F_n ve F_f bileşenleri ve bileşke kuvvetin esas kesme kuvveti (F_c) ve ilerleme kuvveti (F_t) bileşenleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Ortogonal kesmede kuvvet diyagramı (Şahin 2000).

Bu yaklaşımda, tüm takım bileşke kuvvetinin takım-talaş ara yüzeyi boyunca nakledildiği ve takım kesme kenarı veya yan kenarı üzerine kuvvet etkimediği dolayısı ile kazıma kuvvetinin 0 olduğu varsayılmaktadır. Ernst ve Merchant teorisinin esası, kayma açısı öyle bir değer almalıdır ki kesmede yapılan iş, F_c kuvveti ile orantılı olduğundan, ϕ 'ye bağlı F_c için bir ifade geliştirmek ve minimum bir F_c kuvveti için ϕ değerini elde etmek gerekir. Bu nedenle Şekil 4.2' den;

$$F_s = R \cdot \cos (\phi + \beta - \gamma) \quad (4.1)$$

$$F_s = \tau_s \cdot A_s = (\tau_s \cdot A_c) / (\sin \phi) \quad (4.2)$$

yazılabilir. Bu eşitlikte; τ_s : Kayma düzlemi üzerinde iş malzemesinin kayma dayanımı, A_s : Kayma düzlemi alanı, A_c : Deforme olmamış talaş kesiti alanı, γ : Normal talaş açısı, β : Takım-talaş arasında ortalama sürtünme açısını göstermekte olup $\tan \beta = (F_t/F_n)$ e eşittir.

$$R = \frac{\tau_s \cdot A_c}{\sin \phi} \cdot \frac{1}{\cos (\phi + \beta - \gamma)} \quad (4.3)$$

Bu geometriden de;

$$F_c = R . \cos(\beta - \gamma) \quad (4.4)$$

yazılabilir. 4.3 ve 4.4 eşitliklerinden;

$$F_c = \frac{\tau_s . A_c}{\sin \phi} \cdot \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\cos(\phi + \beta - \gamma)} \quad (4.5)$$

elde edilir. Minimum F_c kuvveti için ϕ değerini bulmada da 3.5 eşitliğinin ϕ 'ye göre diferansiyeli alınır ve 0'a eşitlenirse;

$$2\phi + \beta - \gamma = \frac{\pi}{2} \quad (4.6)$$

bağıntısı bulunur.

Merchant yeni bir teori ile aşağıdaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır.

$$\tau_s = \tau_{so} + k . \sigma_s \quad (4.7)$$

Şekil 4.2'den;

$$F_{ns} = F_r . \sin(\phi + \beta - \gamma_{ne}) \quad (4.8)$$

$$F_{ns} = \sigma_s . A_s = \frac{\tau_s . A_c}{\sin \phi} \quad (4.9)$$

yazılabilir. 4.8 ve 4.9 eşitliklerinden kayma düzlemine etkiyen normal gerilme;

$$\sigma_s = \frac{\sin \phi}{A_c} R . \sin(\phi + \beta - \gamma) \quad (4.10)$$

olur ve 4.4 ve 4.10 eşitliği ile birleştirilirse birinci deformasyon bölgesindeki kayma gerilmesi;

$$\tau_s = \sigma_s \cdot \cot(\phi + \beta - \gamma) \quad (4.11)$$

elde edilir. 4.7 ve 4.11'den;

$$\tau_s = \frac{\tau_{so}}{1 - k \cdot \tan(\phi + \beta - \gamma)} \quad (4.12)$$

yazılabilir. Bu eşitlik τ_s değerinin ϕ 'deki değişmeyle nasıl değiştiğini göstermektedir. ϕ 'ye bağlı olarak F_c için yeni bir eşitlik elde etmek için 4.5 eşitliğinde yerine konulursa;

$$F_c = \frac{\tau_{so} \cdot A_c \cdot \cos(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma) \cdot [1 - k \cdot \tan(\phi + \beta - \gamma)]} \quad (4.13)$$

ifadesi elde edilir. Belirli bir malzeme için k ve τ_{so} 'nin ve kesme işlemi içinde A_c ve γ sabitlerdir. Bu nedenle de ϕ 'nin yeni bir değerinin elde edilmesi için 4.13 eşitliğinin diferansiyeli alınır;

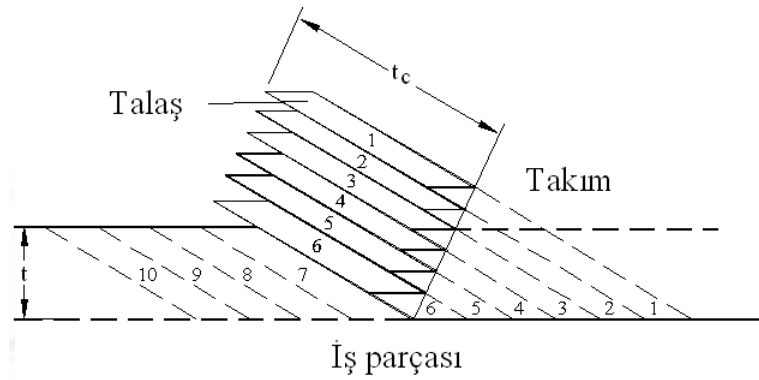
$$2\phi + \beta - \gamma = C \quad (4.14)$$

yazılabilir. 4.14 eşitliğinde C iş malzemesi sabiti olup $C = \arccot k$ ile hesaplanabilir. Ancak son deneysel çalışmalarda farklı kesme şartları içinde verilen bir malzeme için τ_s 'nin sabit kaldığı gösterilmiştir. Bu nedenle de k sabiti de 0'a eşit olacaktır.

Piispanen tarafından da benimsenen bu model kayma açısına karşılık serbest yüzeye eğik olarak tutulan iskambil kâğıdı grubu şeklinde malzemenin kesileceğini göstermektedir (Şahin 2000). Kesici takım iş parçasına göre hareket ettiğinde zamanla bir kartın veya katmanın devreye girmesi ve bunların birbirini üzerine kaymasına sebep olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.3). Bu modelin özelliği ise şöyle özetlenebilir.

- a) Takım yüzeyi sürtünmesi plastikten daha ziyade elastik deformasyon şeklinde oluşması,
- b) Kaymanın mükemmel bir düzlem yüzeyde gerçekleşmesi,
- c) Talaş sıvanmasının ihmal edilir olması,
- d) Kayma açısının serbest seçilmesini gerektirmesidir.

Bununla beraber, bu modelde takımın iyi bilenmiş olması, talaş derinliğinin sabit olması, iş parçasının takıma göre düzgün hareket etmesi, sürekli talaşın üretilmesi ve kesme düzlemi takım boyunca kesme ve normal gerilmelerin uniform olması gibi varsayımlara dayanır (Şahin 2000).



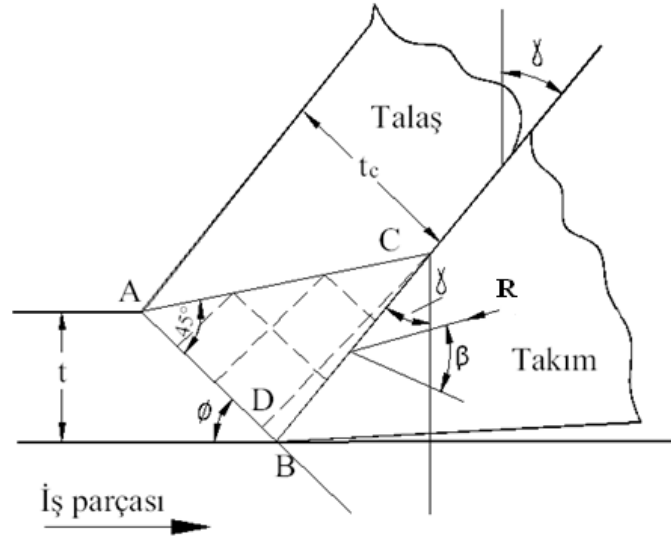
Şekil 4.3 Piispanen talaş oluşum modeli (Şahin 2000).

4.1.2 Lee ve Shaffer Yaklaşımı

Bu yaklaşımda, plastisite teorisi ortogonal kesme işlemine uygulanmıştır. Plastisite teoremini kullanarak kesme probleminin incelenmesinde gerilme altındaki iş malzemesinin davranışları ile ilgili varsayımlar şöyle özetlenebilir:

- a) Malzemenin rijit plastik olduğu elastik uzamanın ihmal edildiği akma noktası geçtikten sonra deformasyonun sabit bir gerilmede oluşacağını ve rijit plastik malzemenin gerilim-uzama eğrisinin düz doğru olduğunu,
- b) Malzemenin davranışı deformasyon miktarından bağımsız olduğunu,
- c) Deformasyon esnasında artan sıcaklık etkisinin ihmal edilebileceğini ve atalet etkilerinin ihmal edilebileceği varsayılır.

Bu yaklaşımda, kesme işleminde çok yüksek uzamalar ve uzama miktarları olduğu için talaş kaldırma esnasında iş malzemesinin gerçek davranışlarına oldukça yaklaşılmıştır. Çoğu metallerde deformasyon sertleşmesi oranının artan uzama miktarı ile hızla azaldığı bilinmekte ve yüksek uzama etkisi de maksimum gerilmeye bağlı olarak metalin akma dayanımını artırmaktadır. Keza toplam uzamaya göre oluşan elastik uzama miktarı ihmal edilebilecek seviyededir. Bu nedenle, iş malzemesinin gerilme-uzama eğrisi yaklaşık doğru oluşturur. Plastisite teoremi ile bir problemin çözümünde kayma hattı alanının oluşması gereklidir. Bu alan iki ortogonal çizgi ailesinden oluşur ve maksimum kayma gerilmesi de iki ortogonal doğrultuda plastik bölge içindedir. Bu yaklaşımda, mükemmel plastik malzemelerin kayma hattı Şekil 4.4’ de gösterildiği gibi, paralel düz doğru ailesinden oluşan talaşta belli bir kayma doğrusu alanın (plastik bölgenin) mevcut olduğu varsayılmaktadır (Lee and Shaffer 1951). Burada bileşke kuvvet (R), kayma açısı (ϕ), normal açı (γ), sürtünme açısı (β), deforme olmamış talaş kalınlığı (t) ile gösterilmektedir. Kayma gerilmesi ve maksimum değeri AC doğrusu boyuncaadır. Talaş kaldırma işleminde iş parçası malzemesinin fiziksel özelliklerinde hiçbir değişme olmaz. Hemen hemen bütün gevrek iş parçaları mükemmel plastik özelliklerinden ziyade elasto-plastik özelliklere sahip olduğundan bu yaklaşım da sınırlı uygulamalara sahip bulunmaktadır.



Şekil 4.4 Ortogonal kesme için Lee ve Shaffer’ın kayma hattı alanı teorisi (Lee and Shaffer 1951).

AC serbest yüzey olarak dikkate alınabilir ve maksimum kayma gerilmesinin yönleri her zaman $\pi/4$ 'de serbest yüzeyle karşılaşacağı için CAB açısı $\pi/4$ 'e eşittir. Son olarak da takım-talaş ara yüzeyine etkiyen gerilmelerin üniform olduğu varsayılırsa BC sınırında esas gerilmeler bu sınırı, β ve $\beta+(\pi/4)$ açılarında karşılar. Maksimum kayma gerilmesinin doğrultuları temel gerilme doğrultularına göre $\pi/4$ açıda oluşur. Bundan dolayı BCD açısı da $(\pi/4)-\beta$ 'e eşit olur. Şekil 4.4'den;

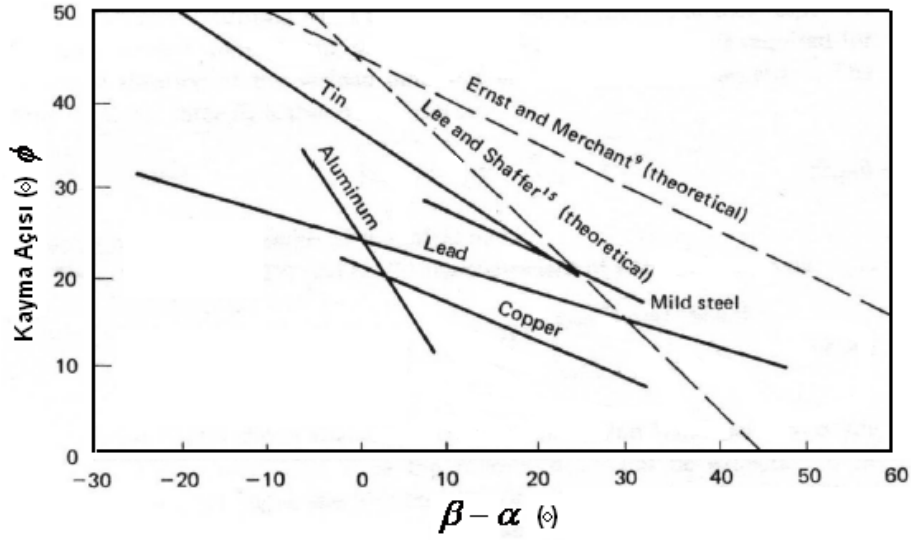
$$\phi + \frac{\pi}{4} + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{2} \quad (4.15)$$

eşitliği yazılabilir. Böylece de;

$$\phi + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{4} \quad (4.16)$$

şeklinde elde edilir. Bu yaklaşım ile 4.16 eşitliği, $\beta = \pi/4$ ve $\gamma=0$ olduğunda, $\phi=0$ olacağı için uygulanmamıştır.

Yukarıda açıklanan teoriler ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması Şekil 4.5' te gösterilmiştir bu grafikte kayma açısına (ϕ), karşılık $\beta - \gamma$ değişimi, Ernst ve Merchant, Lee ve Shaffer'ın elde ettiği ilişkilerin düz doğrular şeklinde olduğu görülmektedir. Bu grafikten test edilen farklı malzemeler için her iki teori de deneysel sonuçlarla nicelikli uyuma yaklaşmadığı ancak bu teoriler deneysel sonuçlarla nitelikli karşılaştırma yapıldığında her iki teori ve deneysel sonuçlarında ϕ ve $\beta - \gamma$ arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir ki $\beta - \gamma$ 'daki bir azalma her zaman ϕ açısında bir artış gösterir. Bu nedenle verilen bir talaş açısı (γ) ve takım yüzeyindeki ortalama sürtünme açısı (β)'da azalama kayma alanındaki azalmaya karşılık kayma açısını artırır.



Şekil 4.5 Farklı teorilerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.

Ernst ve Merchant, Lee ve Shaffer'ın kayma açısı teorileri ve Şekil 4.5'deki deneysel sonuçları, talaş kaldırma işleminde en önemli faktörün takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme olduğunu göstermektedir. Takım yüzeyinde ortalama sürtünme katsayısı değerleri ile takım-talaş sürtünme davranışları önemlidir. Bu nedenle, talaş kaldırmada takım ve talaş arasında sürtünme davranışlarının detaylı olarak dikkate alınması gerekir.

4.1.3 Oxley Yaklaşımı

Talaşlı imalatın modellenmesinde en yaygın olarak kullanılan modellerden birisi de Oxley modelidir. Oxley yaklaşımı sürekli talaş tipiyle sınırlıdır. Bu yüzden, bölünmüş talaş oluşumu gösteren malzeme akma gerilmelerini belirlemek için uygulanamaz. Oxley amaçladığı yaklaşıma göre aşağıdaki kabulleri dikkate almaktadır (Oxley 1989).

- Kesici uç kabul edilebilir keskinlikte olmalıdır (çok küçük kesme radüsü).
- Talaş biçimi sürekli talaş tipidir.
- Kesme derinliği, tatmin edici yüzey gerilme şartları için on ilerleme zamanından daha fazla olmalıdır.
- Kayma düzlemi ve takım-talaş ara yüzündeki gerilme ve sıcaklıklar, ortalama değerler ve benzer dağılımlı gibi varsayılmalıdır.
- Pasif kuvvetler ihmal edilebilir.

- Takım üzerinde yığılmalı talaş (BUE) görünmemelidir.

Oxley, aşağıdaki ilişki ile verilen bir kayma açısı ilişkisini içeren analitik bir ifade elde etmişlerdir (Oxley 1951):

$$\theta = \phi + \beta - \gamma \quad (4.17)$$

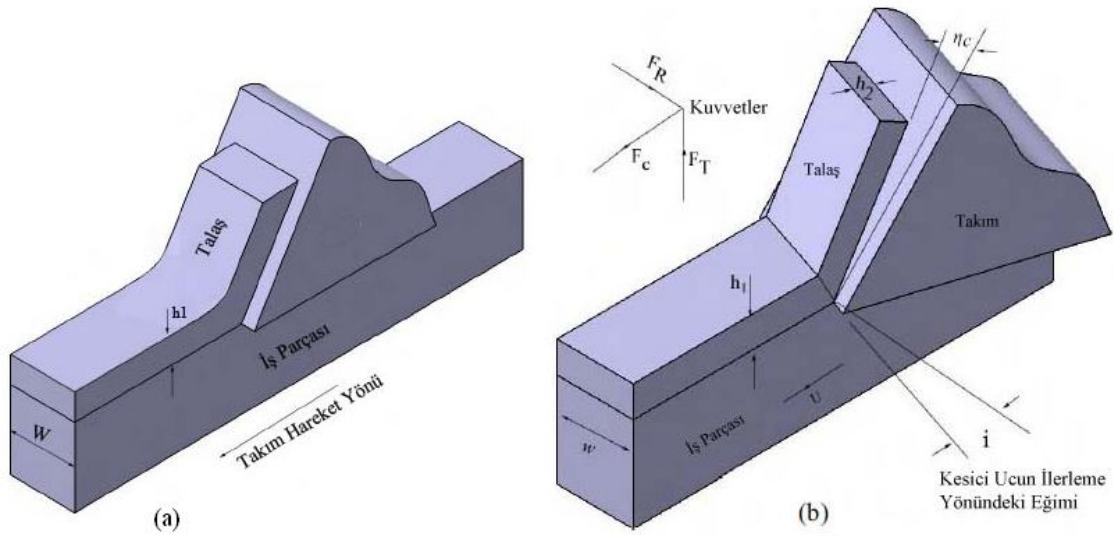
ve

$$\theta = \arctan \left[\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} - \phi + \left(1 + \frac{t_c}{t} \right) \frac{\cos 2(\phi - \gamma)}{2 \tan \beta} - \frac{\sin 2(\phi - \gamma)}{2} \right] \quad (4.18)$$

şeklinde elde etmişlerdir.

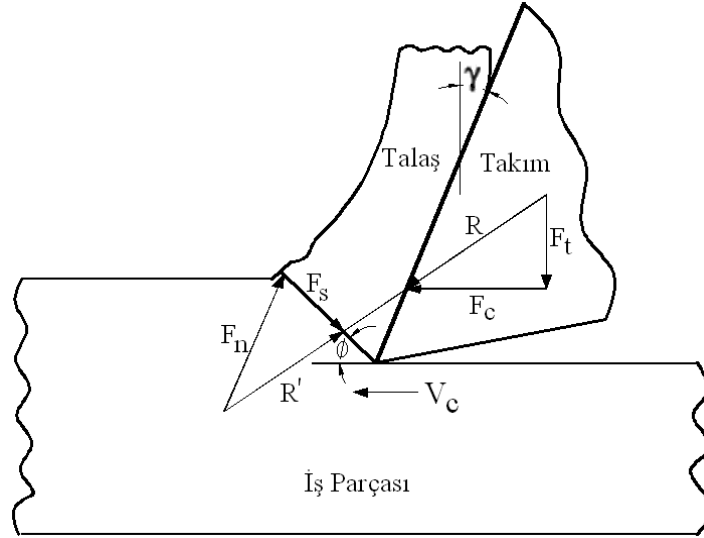
4.2 Dik (Ortogonal) ve Eğik (Meyilli) Kesme İşlemi

Endüstriyel ve akademik alanda kesme işleminin analizi için yaygın olarak dik (ortogonal) ve eğik (oblique) olmak üzere iki kesme metodu kullanılır (Şekil 4.6). Dik kesme, kesici takımın kesme yapan kenarının iş parçasına dik olarak alındığı kesme işlemidir. Dik kesme daha çok, üç boyutlu problemten ziyade iki boyutlu bir problem davranışı gösterdiğinden kesme mekaniğini oluşturan eşitliklerin çıkarılmasındaki deneysel ve teorik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir metottur.



Şekil 4.6 Kesme yöntemlerinin şematik gösterimi a) Dik (Ortogonal) kesme
b) Eğik (Meyilli) kesme (Lee 2007).

Ortogonal kesme işlemi ile yapılan çalışmalarda kesme derinliği hem deneysel hem de nümerik analizlerde kolaylık olması açısından genellikle sabit olarak alınır. Bu kesme işleminde talaş akışı kesici kenarın eğimine bağlı olarak değişmektedir. Ortogonal kesme işleminde talaş kaldırma esnasında meydana gelen kayma düzlemi ve takım üzerindeki kuvvetler Şekil 4.7’de gösterilmiştir (Wince 2002).



Şekil 4.7 Dik (Ortogonal) kesmede kayma düzlemi ve takım üzerindeki kuvvetler (Wince 2002).

4.3 Kayma Düzlemi ve Kayma Açısı

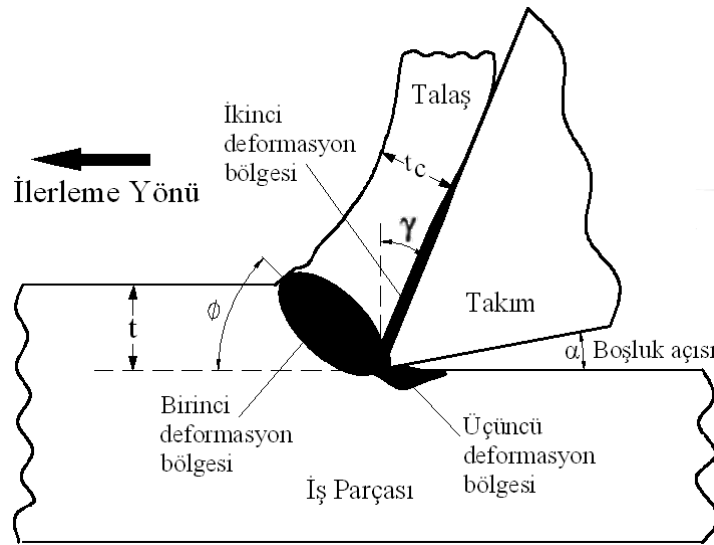
Kayma açısı, plastik deformasyonun meydana geldiği yerdeki alan açısıdır. Hem kesme esnasında dinamik olarak hem de durduktan sonra statik olarak kayma açısını hesaplamak veya ölçmek için birçok metotlar da mevcuttur. Kayma açısını hesaplayabilmek için talaş oranını hesaplamak gereklidir. Deforme olmamış talaş kalınlığının (t), deforme olmuş talaş kalınlığına (t_c) oranı talaş oranı olarak tanımlanır ve şöyle yazılabilir:

$$r_c = \frac{t}{t_c} = \frac{AB \cdot \sin \phi}{AB \cdot \cos(\phi - \gamma)} \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikte; AB: Takım ucundan iş parçasının serbest yüzeyine kadar olan kayma düzlem uzunluğunu, ϕ : kayma açısını ve γ : talaş açısını göstermektedir. Eşitlik 4.19 ölçülebilen talaş kalınlık oranının fonksiyonu olarak kayma açısı için Kosinüs teoremini açarak ve sadeleştirerek ϕ açısı;

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \gamma}{1 - r_c \cdot \sin \gamma} \quad (4.20)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.8 Dik (Ortogonal) kesme modeli (Wince 2002).

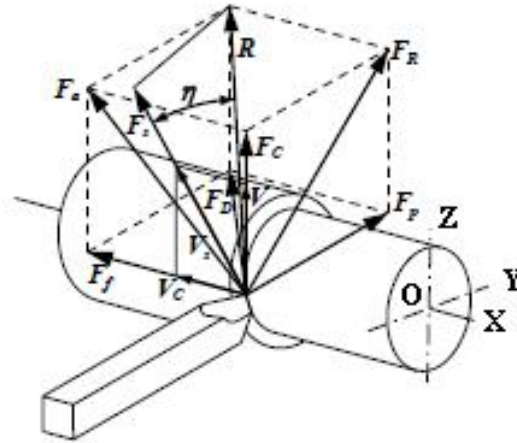
Talaş kaldırma esnasında takım ile iş parçası arasında oluşan kayma bölgeleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Talaş kaldırma işlemi kayma doğrultusu boyunca yoğunlaşmayı gerektirir. Malzeme kayma düzlemine yaklaşıncaya kadar deforme olmaz fakat ince bir kayma düzlemini geçtiği zaman oldukça fazla miktarda basit kayma meydana gelerek Şekil 4.8’de olduğu gibi talaş oluşur. Talaş arkası homojen olmayan uzama nedeniyle kabadır. Bu da malzeme kesilirken oluşan gerilme yığılmaları veya zayıf noktaların mevcut oluşu nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

4.4 Kesme Kuvvetleri ve Gerilmeler

Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Bu güçten dolayı ortaya çıkan kesme kuvvetlerini doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde ölçebiliriz. Dinamometre ile doğrudan ve makine takım davranışlarından çıkarım yaparak teorik olarak ölçülebilir (Childs et al. 2000).

4.4.1 Talaş Kaldırmada Oluşan Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Bu sebeplerle yıllardır araştırmacıların sürekli ilgisini çekmiş, pek çok araştırma yapılmış ve halen de yapılmaktadır. Takım malzemelerindeki gelişmeler, özellikle 1930'lu yıllarda sert karbürlerin kullanılmaya başlanması ile birlikte, kesme hızları artmış, daha kaliteli yüzeyler elde edilmeye başlanmıştır. Bilimsel gelişmelerle birlikte, talaş kaldırma olayı operatörün kişisel tecrübelerine dayanan deneysel seviyeden bilimsel seviyeye çıkarılmıştır. İmalatın uzun ömürlü, kaliteli, emniyetli ve ekonomik olabilmesi için, etkiyen tüm kuvvetlerin hassas biçimde belirlenmesi gerekir. Bu sebeple kuvvet ölçümlerinin sağlıklı yapılması çok önemlidir (Kurt 2006).



Şekil 4.9 Tornalamada oluşan kesme kuvvetleri (Şeker 1997).

Tornada yarı-ortogonal kesme işlemi için üç doğrultudaki kuvvet bileşenleri ölçülebilir. Şekil 4.9'da takım üzerine etki eden kuvvetler gösterilmektedir. Bunlar, takım-talaş yüzeyi üzerine etki eden kesme ucuna dik OZ yönünde kuvvetin bileşeni kesme kuvveti

(F_c) olarak adlandırılır. Kesme hızı vektörü doğrultusunda etkiyen esas kesme kuvveti olup genellikle oluşan kuvvetlerin en büyüğüdür ve kesme işleminde gerekli gücün %99'unu dikkate alır. İlerleme doğrultusuna paralel OX yönünde takım üzerine etkiyen kuvvetin bileşeni ilerleme kuvveti (F_f) olup bu kuvvet genelde F_c kuvvetinin yaklaşık %50'sini oluşturur. Fakat ilerleme miktarları kesme hızları ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğundan gerekli gücün sadece küçük bir kısmını harcar. Radyal yönde takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan OY yönünde işlenmiş yüzeye dik etki eden radyal (pasif) kuvvet (F_p) ise üçüncü bileşenidir. İlerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadar olup ve güç gereksinimine katkısı radyal doğrultudaki hız ihmal edilebilir olduğu için çok azdır. Bu kuvvet ortogonal kesmede kuvvetlerin en küçüğü olduğundan basit tornalamada kesme kuvvetlerinin analizinde bu kuvvet genellikle ihmal edilir.

4.4.2 Talaş Kaldırmada Gerilme Dağılımı

Yüksek kayma gerilmeler ve normal gerilmeler, hem takım-talaş yüzeyinde hem de ilk kayma bölgesinde meydana gelir. Bu sürtünme bölgesi veya ikinci kayma bölgesi mekanik işlemlerin ve kesici takımların aşınmasının anlaşılmasında önemli bir yer tutar.

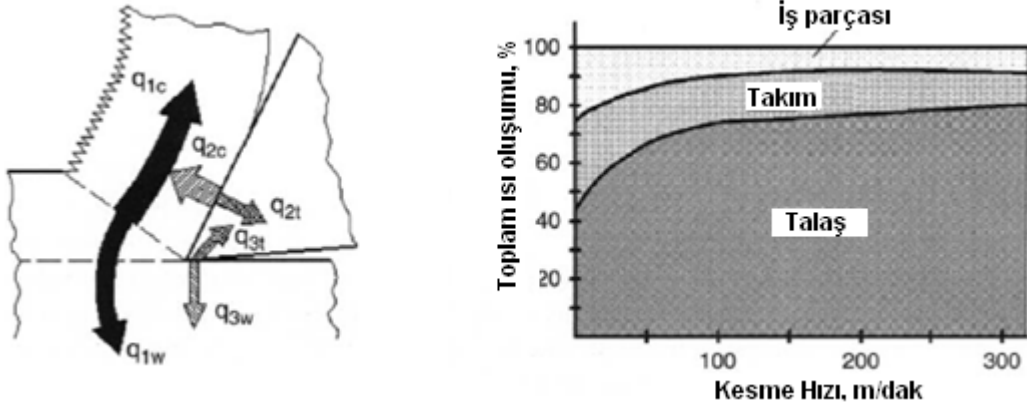
4.4.2.1 İş Parçasında Gerilme

Talaş oluşumunda temel mekanizma, iş parçası malzemesinin kayma düzlemine yaklaşımdan önce deformasyon sertleşmesini gerektirmesidir. Bugüne kadar yapılan deneysel çalışmalar iş parçasının takım ucundan kâfi derecede uzak bir mesafede elastik olarak deforme olduğunu göstermektedir. Malzeme takıma yaklaştığı zaman, Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, basma gerilimleri iş parçası malzemesini plastik olarak deforme etmeye başlar. Takım ucu gerisindeki gerilimler ise çekme şeklinde olur. Takım ucundan elastik-plastik sınır mesafesi, takım parametreleri, kesme parametreleri ve iş parçası özelliklerine bağlıdır. Özellikle çekme yönündeki şekil değiştirme sertleşme miktarı ve iş parçası malzemesinin pekleşme üssü, iş parçasındaki gerilmelerin büyüklüğünü değiştirir ve elastik-plastik sınır yer değiştirmesine etki eder. Deformasyon sertleşmesi az olan malzemeler elastik-plastik sınırlarını takım uç noktasından daha uzak noktalarda oluştururlar.

Bu ilk olarak Zorev tarafından (Zorev 1963) yapılmış olup deneysel sonuçlarla uyumlu olarak Şekil 4.11’de gösterildiği gibi talaş yüzeyindeki gerilimlerin lineer olmadığı gözlenmiştir. Normal gerilmenin takım ucunda $\sigma_{\max}$ değerinde olduğu ve daha sonra talaşın takımla olan temasın bittiği noktaya kadar normal gerilme azalmaktadır. Kayma gerilimi yapışma bölgesinde sabit ve daha sonra takımın talaştan ayrıldığı noktada parabolik azalmaktadır. Kayma dayanımları ve sabit temas uzunluğu için yapışma uzunluklarının artırılması durumunda kesme kuvvetleri de buna bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle, talaş yapışma eğilimi daha az olan takım malzemesini kullanma veya soğutma sıvısı kullanma, yapışma bölgesi uzunluğunu azaltır dolayısıyla kesme kuvvetlerini düşürmektedir.

4.5 Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu

Talaş kaldırma işlemi sırasında harcanan enerjiden, takım-iş parçası ve takım-talaş ara yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı kesici takım üzerinde yüksek sıcaklıklar meydana gelir. Bu sıcaklıklar takım üzerinde aşınmalara neden olur. Son yıllarda takım aşınmasına etkisi nedeniyle talaş kaldırmada iş parçası, talaş ve takım arasında oluşan sıcaklıkların belirlenmesi için pek çok çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Talaş kaldırmada harcanan güç kesici takım ucuna yakın yerde büyük oranda ısıya dönüşür, ısının büyük bir kısmı talaşla dışarı atılır. Bir kısmı da parça içine nüfuz ederken diğer bir kısmı da kesici takıma geçerek bunun ısınmasına sebep olur. Kesme işlemlerinde daha çok teknik ve ekonomik problemler, doğrudan veya dolaylı olarak bu ısıdan kaynaklanır. Şekil 4.12’de talaş kaldırma işleminde takım-talaş ve iş parçasında meydana gelen ısı miktarının takım, talaş ve iş parçasına dağılımı verilmektedir.



Şekil 4.12 Talaş kaldırma işleminde takım-talaş ve iş parçasında meydana gelen ısı dağılımı (Grzesik 2008).

Şekil 4.12'den de görüldüğü gibi kesme hızının yükselmesiyle birlikte talaşa geçen ısı miktarı artmaktadır. Fakat bu artış belirli bir süre sonra azalmaktadır. Kesme hızının artmasıyla birlikte deformasyon hızı artacağından kesme sıcaklığı da artar.

Şekil 4.12'de dikkati çeken diğer bir unsur ise, düşük kesme hızlarında takıma ve iş parçasına iletilen ısının bir miktar yükselmesidir. Bunun da nedeni; düşük kesme hızından dolayı talaş takım yüzeyinden daha yavaş uzaklaşmaktadır. Bunun sonucunda talaştaki ısı takıma ve iş parçasına aktarılma imkânı bulmaktadır. Takım ucu sıcaklığı, takım aşınması ve mukavemeti için önemlidir çünkü bu sıcaklık hangi takımların hangi hızlarda çalışacağını belirler. Ancak genellikle ısı, yüksek kesme hızlarında, talaşla birlikte uzaklaştırılır. Talaş derinliği azaldığında talaş ısı artar ve bu durum yüksek hızlarda talaşın renk değiştirmesi veya kızarması şeklinde ortaya çıkar. Talaş temas yüzeyi ve aktarılan enerji azaldığı için daha yüksek talaş sıcaklığı oluşmasına rağmen kesici uçta daha az ısı enerji yüklenmesi meydana gelir. Kesici uç sıcaklığı, kesme hızı ile yakından ilgili olduğundan, takım-talaş ara yüzey sıcaklığı üzerine kesme hızının önemli etkisi olduğu ve ara yüzeyde takımın aşınma miktarını artırdığı bilinmektedir (Şahin 2000).

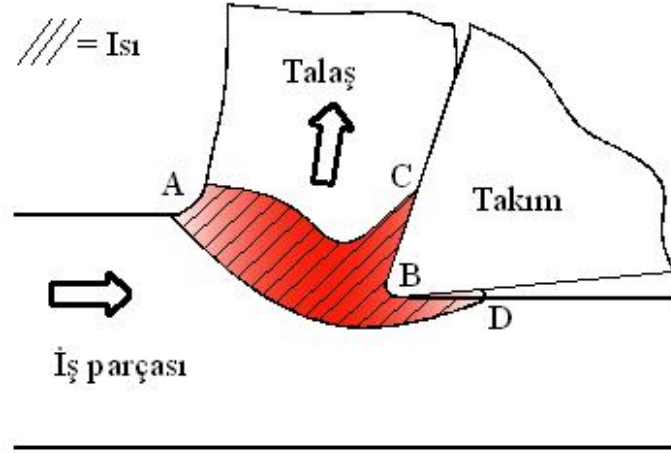
4.5.1 Kesme Sıcaklığı

Genel olarak kesme işlemlerinde ısı oluşumu üç bölüme ayrılabilir; birinci kayma bölgesi, takım-talaş ara yüzeyi ve takım-iş parçası ara yüzeyidir (Jaspers 1999). Malzemelerde talaş kaldırma sırasında açığa çıkan ısıнын takım-talaş ara yüzeyinde oluşturduğu sıcaklığın takım ömrü ve iş parçasının yüzey kalitesi üzerinde bir etkisinin olduğu bilinmekte ve bu sıcaklığın ölçülebilmesi için kullanılacak yöntemler sürekli olarak araştırılmaktadır (Boy 2004). İş parçasının işlenmesi sırasında oluşan ısı, kesici takımın performansını sınırlayan önemli bir faktördür. Bu durum, yüksek sıcaklıklara dayanabilen kesici takım malzemelerinin gelişmesine neden olmuştur (Trent 1984). Talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan ısı iş parçası malzemesine, takım geometrisine, işlem türüne ve işlem parametrelerine göre farklılıklar gösterir. Talaş kaldırmada esnasında oluşan ısıнын % 10 – 40 oranında bir kısmının takıma geçtiği gösterilmiştir (Shaw 1996, Young and Chou 1994).

Deneysel olarak, takım–talaş ara yüzeyi sıcaklık ölçümleri 3 metotla yapılmaktadır; takım iş parçasının temasından oluşan elektromotor kuvvetin (EMK) ölçümü, ısı çift (termokupl) kullanımı ve kızılötesi/termal kamera kullanımı. Ayrıca takım–talaş ara yüzeyi sıcaklığının doğru ölçülmesi için yığıntı talaş oluşumu istenmeyen bir durumdur (Lazoğlu ve Altıntaş 2002, Smith and Armarego 1981). Bu metotlardan en yaygın kullanılan ısı çift (termokupl) yöntemidir.

Şekil 4.13'te dik (ortogonal) kesmede ısıнын meydana gelişi gösterilmektedir. İşlenen bir malzeme elastik olarak deformasyona uğradığı zaman operasyon için gerekli olan sıkıştırma enerjisi malzeme depolanarak hiç ısı meydana gelmez. Ancak, malzeme plastik olarak deformasyona uğradığı zaman kullanılan enerjinin çoğu ısıya dönüşür. Talaş kaldırmada malzeme aşırı yüksek uzamalara maruz kalır ve elastik deformasyon toplam deformasyonun çok küçük bir kısmını oluşturur. Bu nedenle, bütün enerjinin ısıya dönüştüğü varsayılır (Norihica and Simith 1989). Enerjinin ısıya dönüşümü temel olarak iki plastik deformasyon bölgesinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.13). Bunlar kayma bölgesi veya ilk deformasyon bölgesi, AB ve ikinci deformasyon bölgesi, BC olup, çoğu pratik şartlarda, kesici uç yarıçapı çok büyükse, yeni iş parçası yüzeyi ve

takım arasında sürtünme nedeniyle bir üçüncü ısı bölgesi, BD mevcut olacaktır. Ancak takım aşırı aşınmışsa, bu ısı kaynağı küçük olacağından ihmal edilebilecek seviyededir.



Şekil 4.13 Dik kesmede ısının meydana gelişi (Şahin 2000).

4.6 Takım-Talaş Ara Yüzeyindeki Sürtünme

Bir metal malzeme talaş kaldırılarak işlendiğinde, takım ile ilişkili olan eğim yüzeyinin küçük bir bölgesi boyunca kesme kuvvetleri oluşur ve bu olay takım-talaş ara yüzü olarak bilinir. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, takım aşınma teorilerinin geliştirilmesi ancak takım-talaş ara yüzünün tribolojik özelliklerinin iyi analiz edilmesiyle mümkündür (Smith 1989).

Merchant analizlerinde, sürtünme katsayısının sürekli olduğu yerde takım-talaş arasında bir kayıcı temasın olduğunu belirtmiştir (Merchant 1945). Mühendislik ve fiziksel durumların çoğunda, tribolojik ara yüzdeki sürtünmenin etkileri şimdiye kadar Coulomb sürtünme katsayısı denklem 4.21 ile tanımlanmıştır.

$$\mu_f = \frac{F}{N} \quad (4.21)$$

Burada, N düşünülen ara yüzdeki normal kuvvet ve F bu ara yüzdeki sürtünme kuvvetidir. Takım-talaş ara yüzeyindeki gerilmelerin her noktada benzer çıkmasından dolayı, $\sigma_c = N / A_c$ ve $\tau_c = F / A_c$ yazılabilir ve buradan da;

$$\mu_f = \frac{\tau_c}{\sigma_c} \quad (4.22)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik 4.22'ye göre eğer takım-talaş ara yüzündeki sürtünme katsayısı sabitse, tüm temas uzunluğu boyunca normal ve kayma gerilmelerinin oranı aynıdır. Takım-talaş ara yüzünde nispi hareketin olmadığı yerde, en genel durum yapışma sürtünmesidir. Bu yapışma sürtünmesi için oluşan kayma yüklerini kaymadaki akma gerilmesine (k_c) ve normal gerilmeleri de iş parçası akma gerilmesine (σ_y) eşitlersek;

$$\mu_f = \frac{k_c}{\sigma_y} = \frac{\sigma_y / \sqrt{3}}{\sigma_y} = 0.577 \quad (4.23)$$

elde edilir. Eşitlik 4.23'te belirlenen μ_f sürtünme katsayısı değeri limit değeri olarak düşünülmelidir bu yüzden eğer $\mu_f > 0.577$ olursa ara yüzde nispi hareketler olmayabilir.

Sürtünme katsayısı üzerine geçmiş yıllarda, birçok deneysel çalışma ve nümerik modelleme çalışması yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda sürtünme katsayısını, Zorev $\mu_f = 0,6-1,8$, Kronenberg $\mu_f = 0,77-1,46$, Armarego ve Brown $\mu_f = 0,8-2,0$, Finnie ve Shaw $\mu_f = 0,88-1,85$, Usui ve Takeyama $\mu_f = 0,4-2,0$ vs. elde etmişlerdir. Talaş kaldırma simülasyonlarında ise sürtünme katsayısını, Stenkowsky ve Moon 0,2, Komvopoulos ve Erpenbeck 0,0-0,5, Lin, Pan ve Lo 0,074, Lin ve Lin 0,001, Stenkowsky ve Carroll 0,3, Endres, DeVor ve Kappor 0,05, 0,10, 0,25, ve 0,5, Olovsson, Nilson ve Simonsson 0,1 vs. almışlardır (Astakhov 2006). Sonlu elemanlar modellemesinde kullanılan sürtünme katsayısı değerleri, ara yüz için uygun değer olarak kabul edilen limit değerinin altındadır. İlginçtir ki, FEM modellerinin sonuçları seçilen sürtünme katsayısının özel olup olmadığına bakılmaksızın deneysel çalışmalarla uyumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Sürtünme katsayısını deneysel olarak belirlenmesinde oluşan problemi anlamak için, Merchant tarafından geliştirilen kuvvet diyagramını tercih etmeliyiz. Çünkü Merchant metal kesmede Coulomb kanununu dikkate almıştır. Bu diyagrama göre sürtünme katsayısı μ_f ;

$$\mu_f = \frac{F}{N} = \frac{F_T + F_C \cdot \tan \gamma}{F_C - F_T \tan \gamma} \quad (4.24)$$

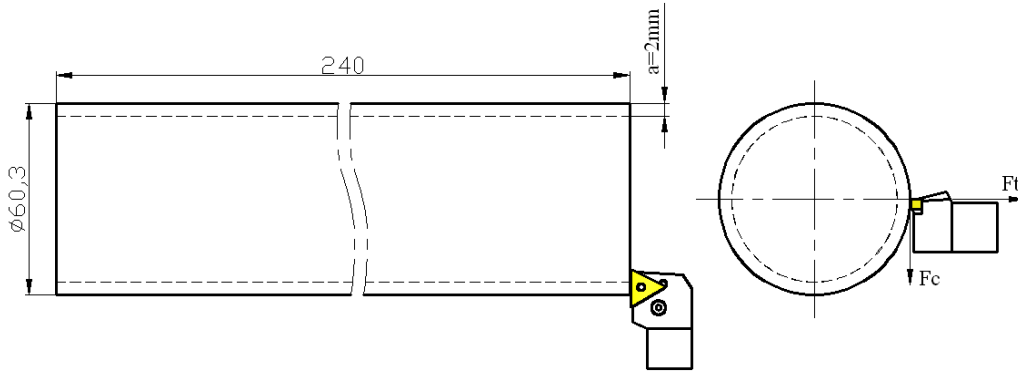
olarak elde edilmiştir. Eşitlik 4.24'ten görüldüğü gibi sürtünme katsayısı, deneysel olarak elde edilen normal ve sürtünme kuvvetleri kullanılarak hesaplanabilir. Böylece elde edilen sürtünme katsayısı ortak deneylerle eşleştirilemez. Bu ilk olarak 1927 yılında Kronenberg tarafından bulunmuştur (Kronenberg 1966). Maalesef Merchant, Kronenberg'in kitabının ilk basımını dikkate almayıp 20 yıl sonra onun araştırmalarını nakletmiştir.

5. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin deneysel olarak işlenmesi ve nümerik olarak modellenmesi ile elde edilen kesme kuvvetleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, farklı kesme parametrelerinde kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kesici takımlar ISO standardına göre tek noktadan kesme yapan talaş kırıcısız ve farklı kaplama kalınlıklarında WC-Co 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 belirlenmiştir.

5.1 İş Malzemesinin Özellikleri

Deneysel çalışmada ortogonal kesme işlemi gerçekleştirebilmek için, 60,3 mm çap ve 2 mm et kalınlığına sahip AISI 316L östenitik paslanmaz çelik boru malzemesi kullanılmıştır. Şekil 5.1’de hazırlanan malzemenin teknik resmi ve işleme şekli görülmektedir.



Şekil 5.1 Ortogonal kesme işleminde kullanılan deney numunesi.

Kullanılan iş parçası 165 HB sertliğinde olup; kâğıt, selüloz, suni ipek sanayi, boya endüstrisi, hastane ekipmanları, meyve suyu ve içki üretim tesisleri, et işletme ürünleri, tekstil sanayi, kimya ve ilaç endüstrisi, süthane ekipmanları, petrol ve doğalgaz üretim üniteleri, nitrik asit üniteleri, erzak ve yiyecek sanayi, tıbbi ve medikal malzemeler, mutfak gereçleri, kimya sektöründe ve uzay sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan 316L östenitik paslanmaz çeliğinin uluslararası geçerliliği olan (MILL TEST CERTIFICATE) malzeme sertifikasındaki kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.1 verilmiştir.

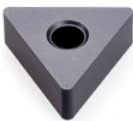
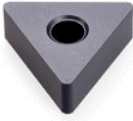
Çizelge 5.1 AISI 316L malzemesine ait kimyasal (% ağırlık) özellikler.

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
0,017	1,50	0,520	0,029	0,0010	11,20	16,75	2,15	67,833

5.2 Kesici Takım Özellikleri

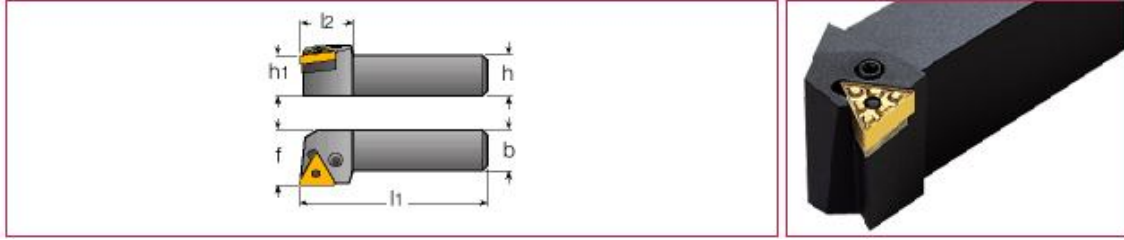
Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım ucu olarak ISCAR firmasının üretmiş olduğu TNMA 160408 serisine ait IC20 kaplamasız karbür kesici takım, IC4028 TiCN+AL₂O₃+TiN kaplı karbür kesici takım ve IC428 AL₂O₃ kaplı karbür kesici takım olmak üzere 3 farklı kesici takım kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de 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 5.2 Çalışmada kullanılan kesici takımların özellikleri.

	ISO Sınıfı	Sertlik (HRA) (İnt Kay. 4)	Eğilme Mukavemeti (MPa) (İnt Kay. 4)	Kaplama Yöntemi	Kaplama Türü
 IC428	P05-P15 K05-K20	91,5±1,5	1760-1820	CVD	Al ₂ O ₃
 IC4028	K05-K20	≥91,5	1360	CVD	TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
 IC20	M10-M25 K10-K20	91	2060	----	----

Kesici takım tutucusu olarak SANDVIK Coromant firmasının Şekil 5.2'deki kesme işlemi esnasında 90° yaklaşma açısına sahip PTGNL 2525M16 seri numaralı takım tutucusu kullanılmıştır.

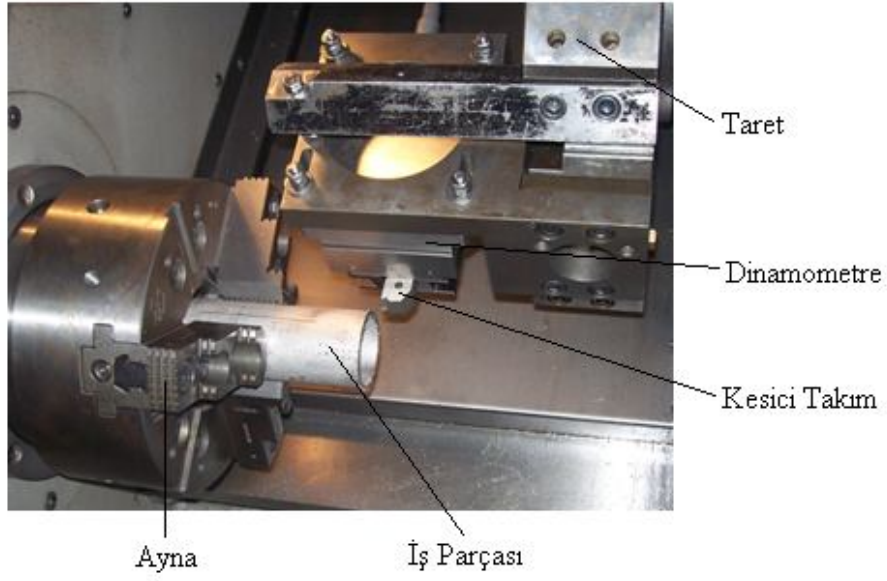
Kullanılan kesme parametreleri; kesme hızı 75-100-150-200-250 m/dak talaş derinliği 2 mm ve ilerleme hızı 0,05–0,1-0,2-0,3 mm/dev olarak alınmıştır.



Şekil 5.2 Deneylerde kullanılan takım tutucu (İnt.kyn.5).

5.3 Deney Düzeneği ve Kuvvetlerin Ölçülmesi

Deneyisel çalışma için Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı, CNC laboratuvarında 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. Deneyisel çalışmada kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Kistler 9257B tip üç kuvvet bileşenini de ölçebilen bir piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin tezgaha bağlanmış kısmı Resim 5.1'de, bilgisayara bağlantısı ise Resim 5.2'de verilmiştir.



Resim 5.1 Ortogonal kesme işlemi için kullanılan deney düzeneği.

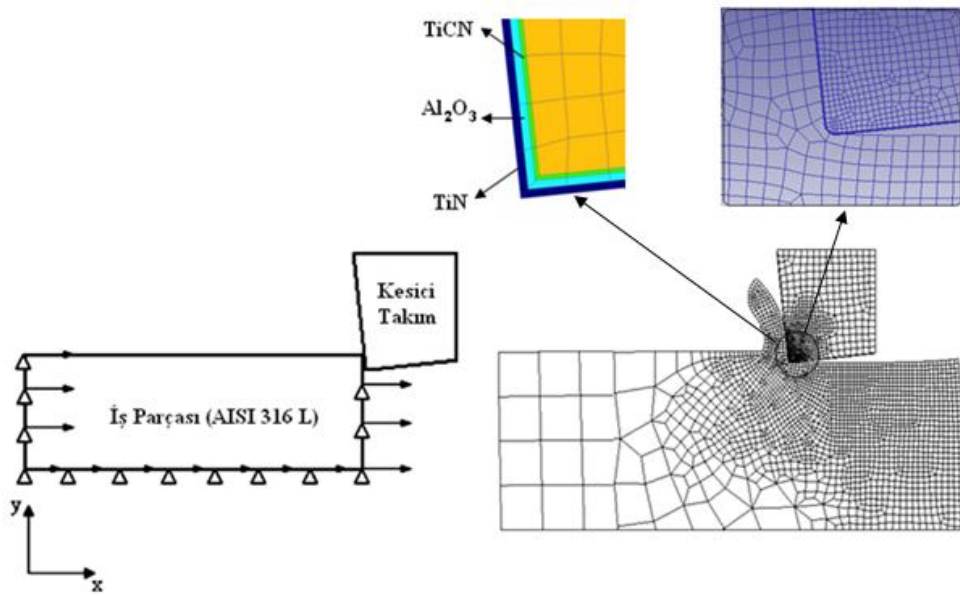


Resim 5.2 Verilerin alındığı ve saklandığı bilgisayar sistemi.

5.4 Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması ve Sınır Şartları

Sonlu elemanlar çözümlerinde 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 5.3'de verilmektedir. Problemin modellenmesinde 4 düğümlü izoparametrik elemanlar kullanılmıştır. Kaplanmış kesici takımların kaplama kalınlıkları

Iscar firması tarafından verilen değerler esas alınarak modellenmiştir. Ayrıca kesme işlemlerinde kayma sürtünme faktörünü (m) belirlemek için, farklı kayma sürtünme katsayıları (0,6-0,7-0,8-0,9-1) için nümerik analizler gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerle yakınsamasına bakılmıştır. Bu nümerik analizler sonrasında elde edilen yakınsamalar; 0,6 kayma sürtünme faktörü için % 75, 0,7 için % 81, 0,8 için % 85, 0,9 için % 87 ve 1 değeri için % 99,9 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, deneysel verilerle yakınsamasında nümerik çalışmada en iyi değeri verdiği için kayma sürtünme faktörü değeri 1 olarak alınmıştır. Takım-talaş ara yüzey için ısı transfer katsayısı $45 \text{ kw/m}^2\text{C}$ alınmıştır.



Şekil 5.3 Nümerik çözümlerde kullanılan iki boyutlu sonlu elemanlar modeli.

Yapılan çalışmada malzeme modeli olarak Johnson-Cook akma gerilmesi modeli tercih edilmiştir. AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği için Johnson-Cook katsayıları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 AISI 316L için Johnson-Cook katsayıları (Umbrello et al. 2007).

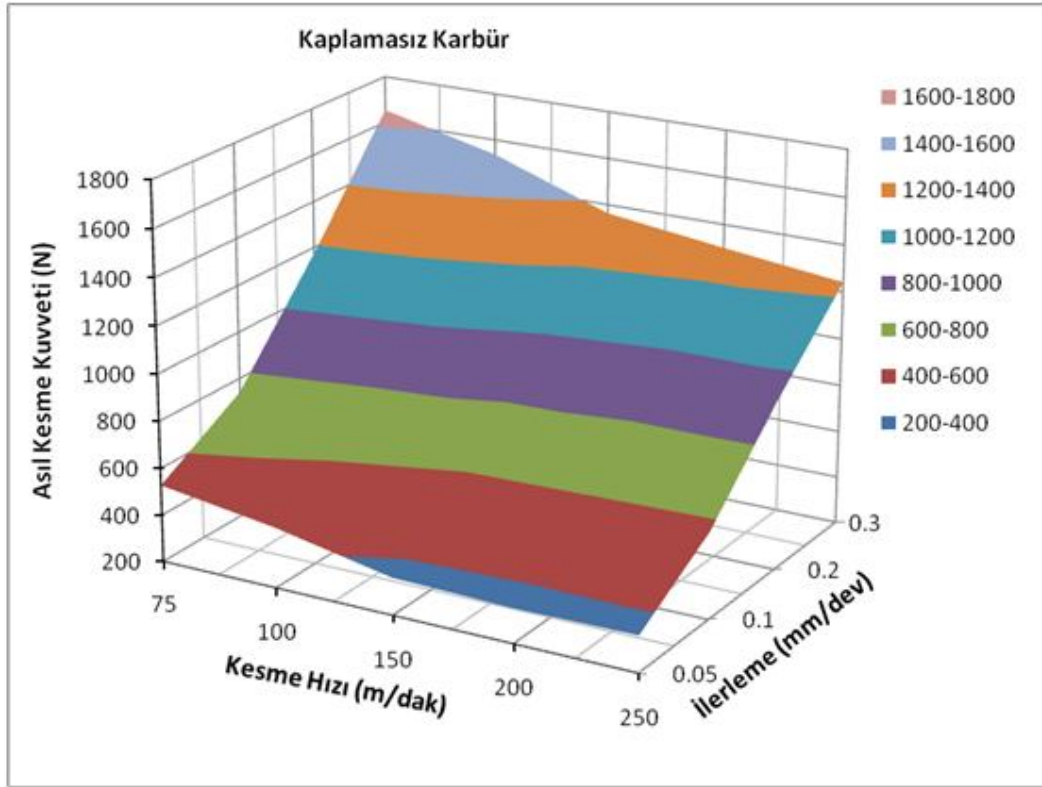
A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	$\dot{\epsilon}_0$ (1/s)	Oda Sıcaklığı (°C)	Ergime Sıcaklığı (°C)
514	514	0,042	0,508	0,533	0,001	20	1399

6. DENEYSEL ve NÜMERİK SONUÇLAR

AISI 316L paslanmaz çelik boru malzemesinin CNC torna tezgâhında işlenmesi ve nümerik olarak modellenmesi sonucunda ortaya çıkan sonuçlar başlıklar altında incelenmiştir. Talaş kaldırma işlemi esnasında her bir deney için elde edilen talaşlar muhafaza edilmiş ve deforme olmuş talaş kalınlığı kumpasla ölçülerek tespit edilmiştir. Deneysel çalışma esnasında dinamometre yardımıyla belirlenen kesme kuvvetleri ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak tespit edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Belirlenen kesme parametrelerinin oluşan kesme kuvvetlerine ne gibi etkileri olduğu karşılaştırma sonrasında ortaya çıkmıştır. Kesme esnasında oluşan kesme sıcaklığı ve takım sıcaklığı değerleri nümerik modelleme sonrasında elde edilmiştir.

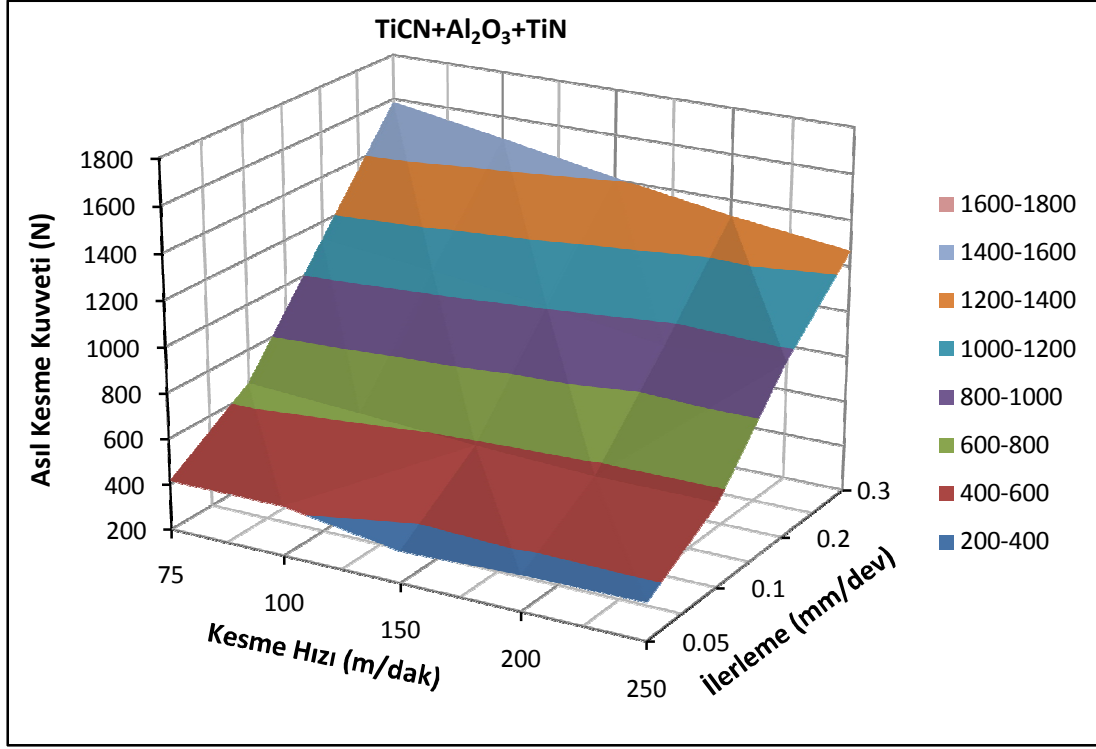
6.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, kullanılan üç kesici takım için aynı kesme şartlarında elde edilen asıl kesme kuvvetinin değişimi Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te verilmektedir. Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi, artan ilerleme değerlerine bağlı olarak asıl kesme kuvveti artmaktadır. İlerleme değerinin artması birim zamanda kaldırılan talaş kesitinin de artmasına neden olduğundan, kesici takıma etkiyen basınç ta artacaktır. Buna paralel olarak, kesme için gerekli olan kuvvet artacaktır. Bunun yanı sıra, 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 beraber iş parçasından talaş koparmak daha da zorlaşmaktadır. Kesme hızının artmasıyla birlikte birinci deformasyon bölgesindeki kesme sıcaklığı artmakta ve kesme bölgesinde ısı bir yumuşama meydana gelmektedir. Bu da kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Her üç takım birlikte değerlendirildiğinde, asıl kesme kuvvetleri açısından aralarında çok da ciddi bir farkın olmadığı söylenebilir.



Şekil 6.1 Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.

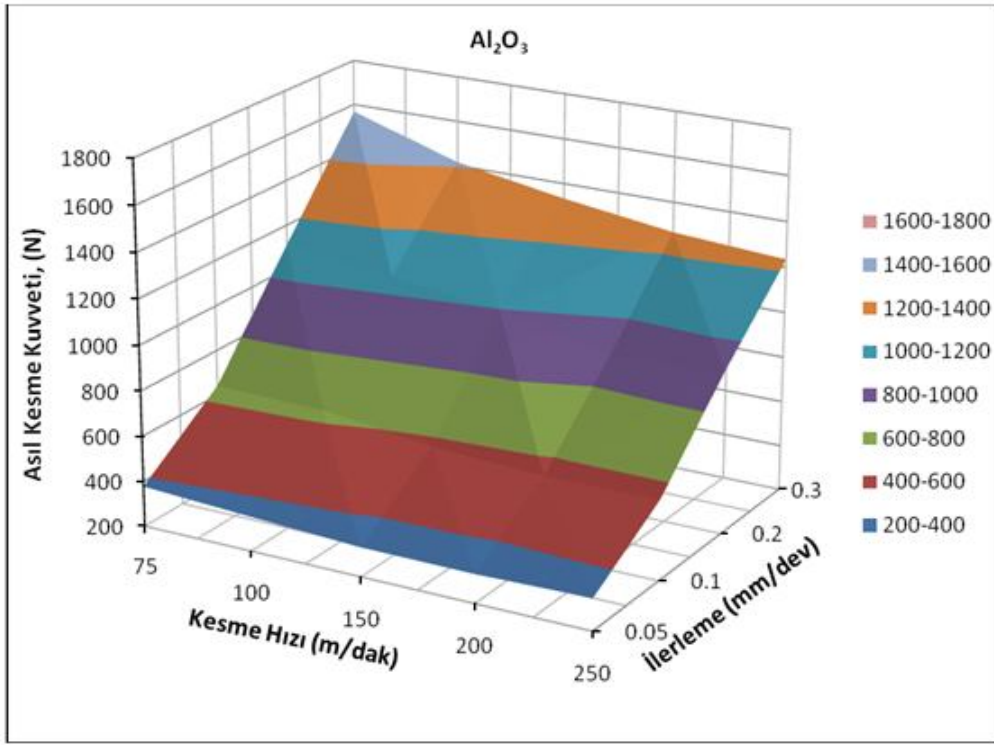
Şekil 6.1 incelendiğinde, ilerleme değerinin artması asıl kesme kuvvetinin lineer olarak artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte kesme hızının artmasıyla asıl kesme kuvvetinin de orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde diğer iki kesici takım ile elde edilen kesme kuvvetleri değerlerine göre (Şekil 6.2, Şekil 6.3), ilerleme kuvveti arttıkça asıl kesme kuvvetinin arttığı, kesme hızının artması ile de asıl kesme kuvvetinin orantılı olarak azaldığı görülmüştür.



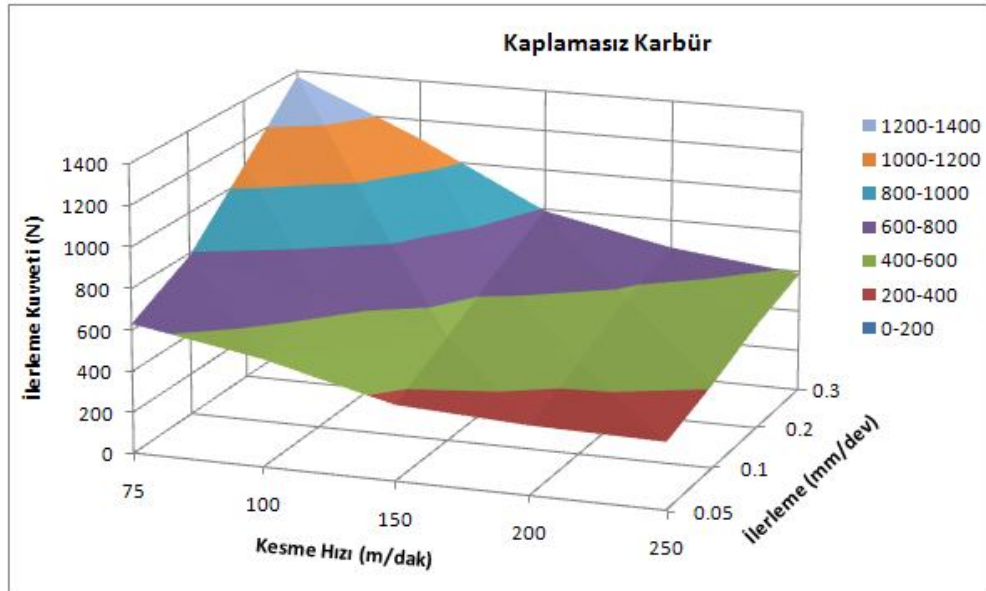
Şekil 6.2 TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.

Kaplamasız kesici takım için elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin kaplanmış her iki kesici takıma nazaran daha küçük olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle 75 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme değeri için, elde edilen maksimum kesme kuvvetleri birbirleriyle karşılaştırıldığında bu durum daha net olarak görülmektedir.

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te $V = 150$ m/dak ve $f = 0,05$ mm/dev için elde edilen kesme kuvveti değerlerine bakıldığında; bu kesme parametreleri için asıl kesme kuvveti TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımda minimum değerini alırken, kaplamasız ve Al₂O₃ kaplı kesici takımda orantılı bir şekilde azalma eğilimi göstermektedir. Aktif kesme kuvvetleri açısından değerlendirme yapacak olursak, deneylerde kullanılan iş malzemesi için ideal kesici takım Al₂O₃ kaplı kesici takımdır.

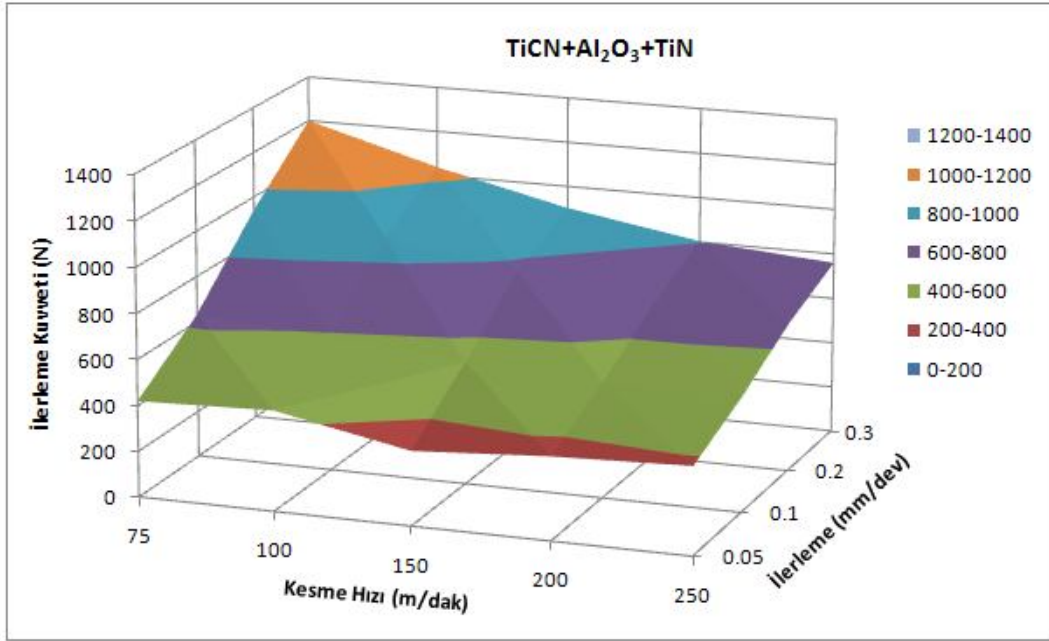


Şekil 6.3 Al_2O_3 kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde asıl kesme kuvvetinin değişimi.



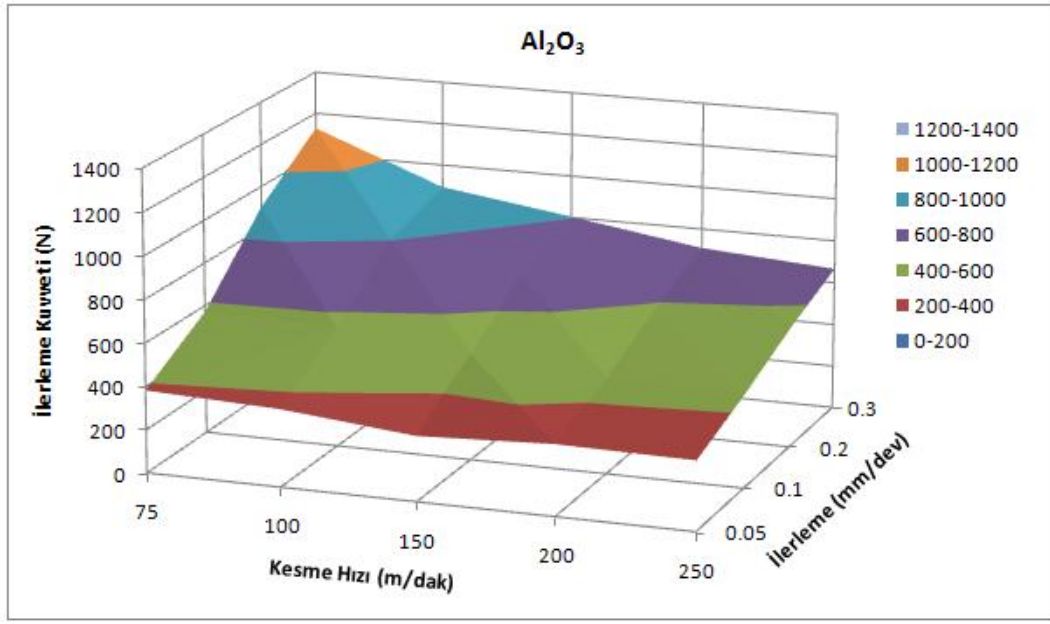
Şekil 6.4 Kaplamasız karbür kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi.

Ortogonal tornalama işleminde en küçük kesme kuvvetini ilerleme kuvvetleri oluşturmaktadır. Kesici takımın ilerleme yönü iş parçası eksenine dik olan kesme kuvvetine aksenal kuvvet denir. Yapılan bu çalışmada kesici takımın ilerleme yönündeki kuvvet, asıl kesme kuvvetinden sonra dikkate alınacak olan kuvvettir. Yapılan çalışmada pasif kesme kuvvetlerinin 10-80 N arasında değiştiği gözlemlenmiş ve çok da önemli olmadığı için yer verilmemiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen ilerleme kuvveti değerlerinin değişimi Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da verilmektedir. Asıl kesme kuvvetlerinde de olduğu gibi artan ilerleme değerlerine bağlı olarak her üç takımda da kesme kuvvetleri artarken, artan kesme hızına bağlı olarak her üç takımda değişken özellik gösterdiği grafiklerden açıkça görülmektedir. Kaplamasız kesici takım ile $V = 75$ m/dak ve 100 m/dak kesme hızlarında elde edilen ilerleme kuvveti değerleri diğer iki kesici takım ile elde edilen sonuçlara göre daha büyük olduğu dikkat çekmektedir. Fakat diğer kesme hızlarında elde edilen kuvvet değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Grafiklere göre, kaplamasız takım ile elde edilen kuvvet değerleri Al_2O_3 kaplı kesici takım ile elde edilen kuvvet değerlerinden daha yüksektir. $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takıma göre ise $V \leq 150$ m/dak, kaplamasız takım için elde edilen kuvvet değerleri daha yüksek, $V = 200$ m/dak ve $V = 250$ m/dak kesme hızı değerlerinde kuvvet değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen en yüksek ilerleme kuvveti değerleri, kaplamasız kesici takım ile yapılan deneylerden elde edilen kuvvet değerleridir. İlerleme kuvveti açısından değerlendirme yapacak olursak, deneylerde kullanılan iş malzemesi için ideal kesici takımda Al_2O_3 kaplı kesici takımdır.



Şekil 6.5 TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi.

Hem asıl kesme kuvvetleri ve hem de ilerleme kuvvetleri açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, AISI 316L paslanmaz çeliği iş malzemesinin işlenmesinde Al₂O₃ kaplı kesici takımın daha uygun olduğunu söylemek mümkündür. Bununda nedeni artan ilerleme ve kesme hızı değerlerine bağlı olarak, Al₂O₃ kaplı kesici takımla düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Daha düşük kesme kuvveti, takım yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin de daha küçük olması anlamına gelir. Bunun sonrasında da Al₂O₃ kaplı kesici takım ömrünün daha yüksek olabileceğini söylemek yanlış olmaz. Fakat daha gerçekçi sonuçlar için de aşınma deneylerinin yapılması gerekir.

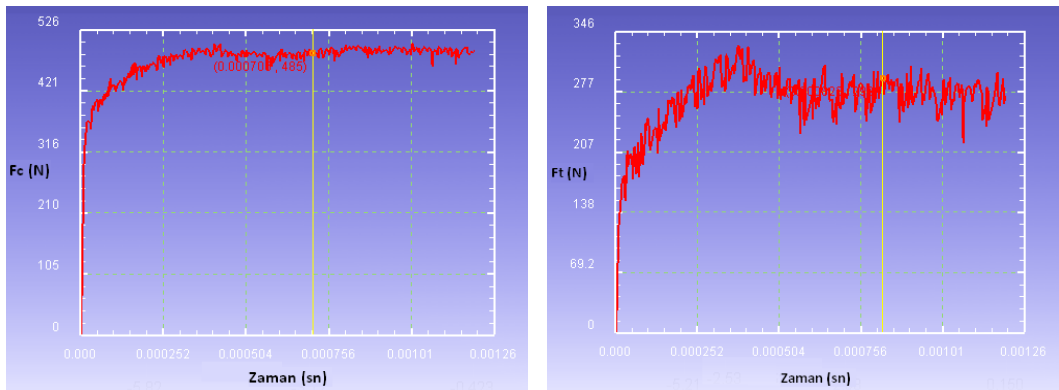


Şekil 6.6 Al_2O_3 kaplı kesici takım için farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ilerleme kuvvetinin değişimi.

6.2 Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

6.2.1 Kesme Kuvvetlerinin Değişimi

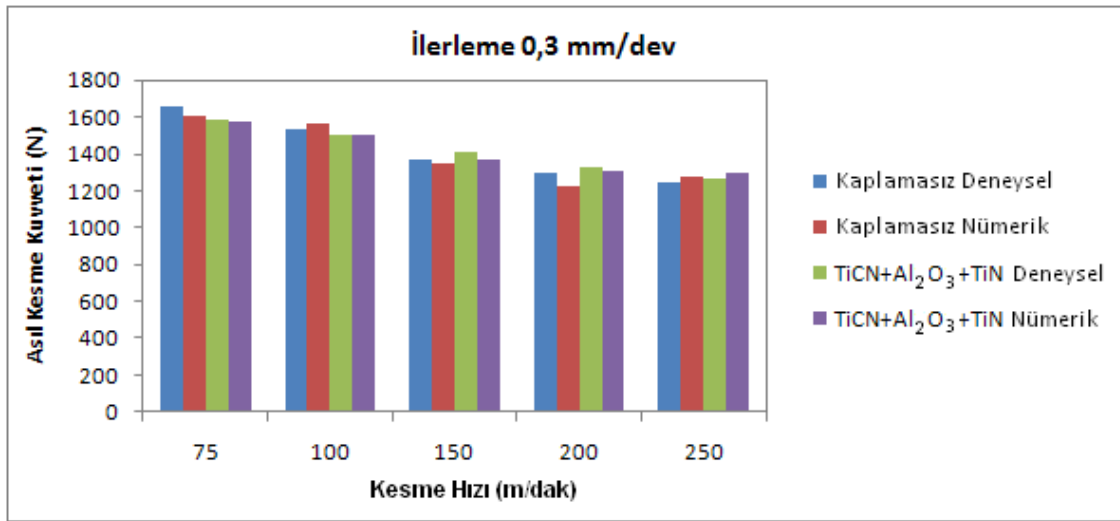
Şekil 6.7’de nümerik çözümlerde elde edilen kesme kuvveti grafiği gösterilmektedir. Bu grafikte kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Her bir deney için kesme kuvveti belirlenirken, grafikteki kuvvet değerlerinin stabil olduğu noktalar arasındaki değerlerin ortalaması alınmıştır.



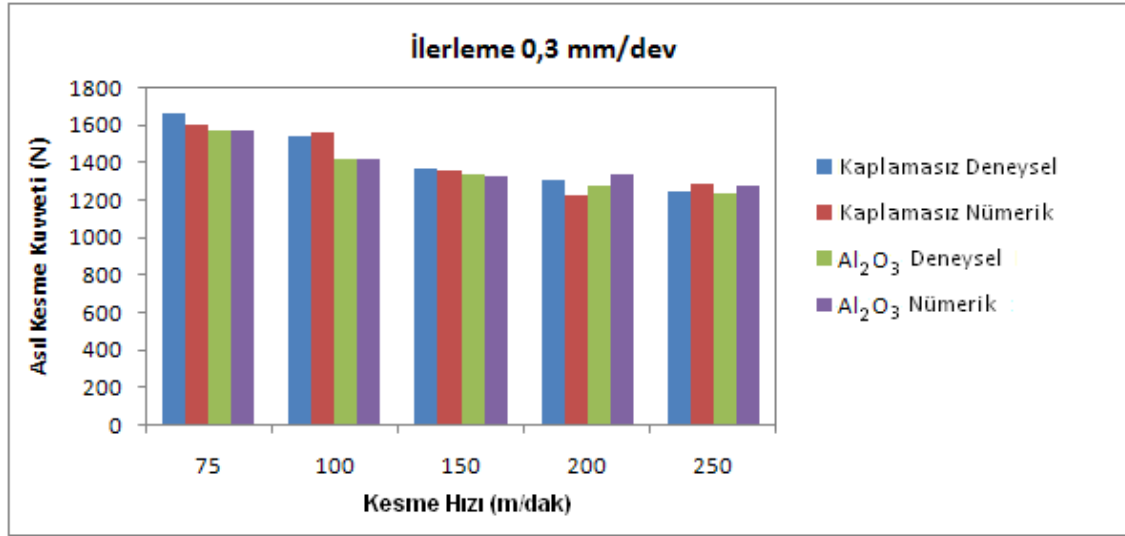
Şekil 6.7 Nümerik analizlerde elde edilen kesme kuvvetlerinin zamana göre değişimi.

Yapılan çalışma neticesinde üç farklı kesici takım için elde edilen deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. 0,3 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 ortalama %15 oranında azalmakta ve kesme hızındaki artışla doğru orantılı bir biçimde kesme kuvvetlerinin de azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında deneysel olarak yapılan çalışmada maksimum kesme kuvveti değeri 75 m/dak kesme hızında ve kaplamasız karbür kesici takımla yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 1653 N olarak elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 250 m/dak kesme hızında ve Al_2O_3 kaplı kesici takımda yaklaşık olarak 1234 N olarak elde edildiği Şekil 6.9'dan görülmektedir.

Kesme hızının artmasıyla, birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen sıcaklık da artmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesinde termal yumuşama meydana gelecektir. Bunun sonucunda iş malzemesini kesmek daha kolay olacaktır.



Şekil 6.8 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.



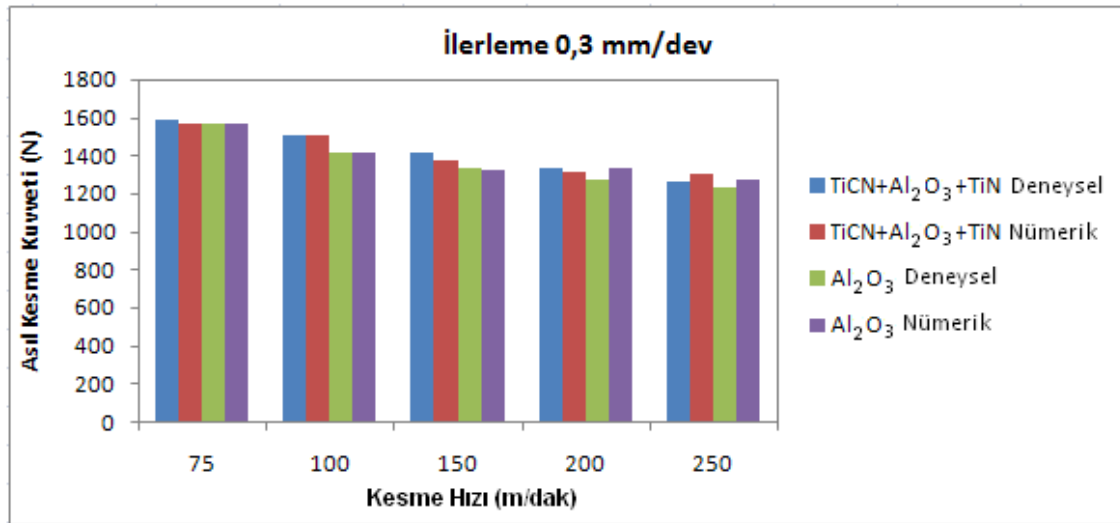
Şekil 6.9 Kaplamasız karbür ve Al₂O₃ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde elde edilen asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

Bütün kesme hızları ve kaplama türleri ile yapılan kesme işlemlerinde, deneysel ve nümerik sonuçlar arasında çok iyi bir uyumun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte düşük kesme hızlarında sonuçlar arasındaki uyumun daha yüksek olduğu Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'dan görülmektedir. Bu kapsamda, en düşük yakınsama kaplamasız karbür kesici takımla, 200 m/dak kesme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık % 93 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama, TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımla 100 m/dak kesme hızında yaklaşık olarak % 99,9 ve Al₂O₃ kaplı kesici takımla 75 m/dak kesme hızında yaklaşık olarak % 99,8 olmuştur.

Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10 bu konuyla ilgili daha önceki çalışmalarla (Umbrello et al. 2007) karşılaştırıldığında deneysel ve nümerik veriler arasındaki farkın oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan malzeme modelinin, sürtünme ve sınır şartlarının oldukça yerinde seçildiğini göstermektedir. Fakat dikkat edilecek olursa artan kesme hızıyla birlikte deneysel ve nümerik veriler arasındaki fark nispeten artmaktadır. Bununla nedeni kullanılan malzeme modelinin, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme şartının gerçek şartlardan farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin önerilen malzeme modelleri belirli kesme hızı aralığında deneysel şartlarda yakın sonuçlar verir. Artan kesme hızı, özellikle yüksek kesme hızları (> 500 m/dak) hem şekil değiştirme

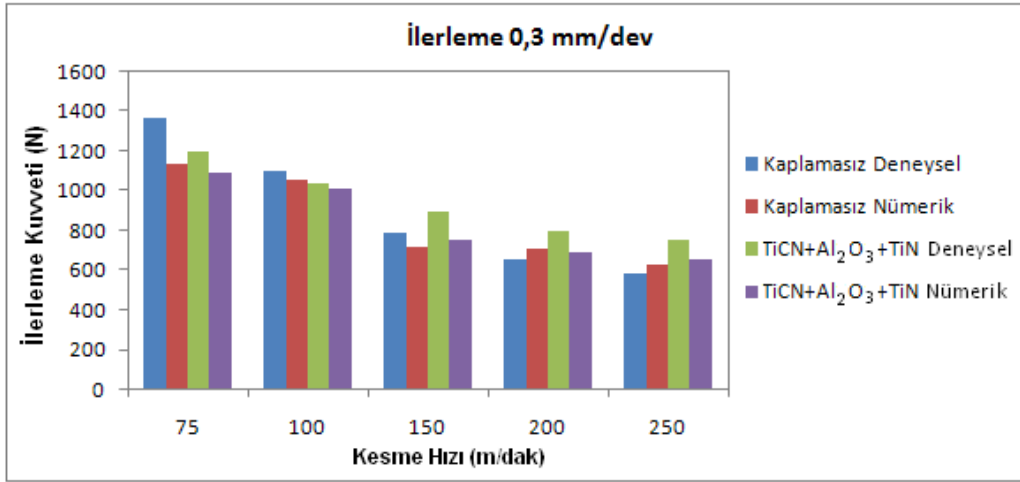
hızını hem de kesme sıcaklığını önemli ölçüde değiştireceğinden deneysel ve nümerik veriler arasında fark artacaktır.

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, kaplamasız takım ile karşılaştırıldığında, oluşan ısının takım içine doğru yayılmasını 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 anlaşılmış olacaktır.

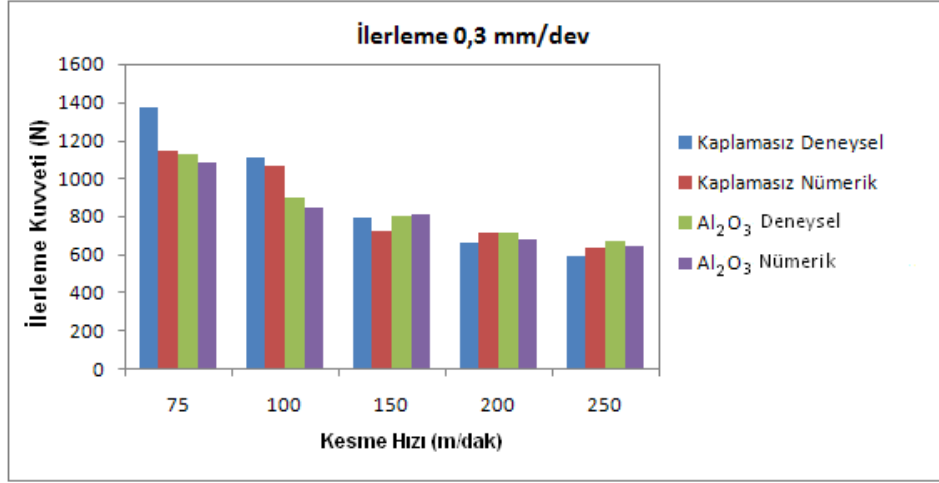


Şekil 6.10 TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde asıl kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

Deneysel ve nümerik çalışmalar neticesinde elde edilen ilerleme kuvvetlerinin, kesme hızı ve kullanılan kesici takımlara göre değişimi Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13’de verilmiştir. Grafikte göze çarpan ilk sonuç, kesme hızının artmasıyla birlikte ilerleme kuvvetlerinin de azaldığıdır. Bu sonuçlar ışığında bütün kesici takımlar için hem deneysel hem de nümerik sonuçlarda en büyük ilerleme kuvveti 75 m/dak kesme hızında 1080-1380 N arasında değişen bir seyir izlemiştir. Buna karşılık en düşük pasif kesme kuvveti değeri ise, 250 m/dak kesme hızında ve 600-800 N arasında bir değer almışlardır. Bu bağlamda kesme hızının 75 m/dak’dan 250 m/dak’ya artmasıyla birlikte kuvvetler yaklaşık olarak % 40 oranında azalmaktadır. Grafiklerde göze çarpan bir diğer sonuç ise; Deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki makul seviyedeki uyumdur. Bu doğrultuda en kötü yakınsama 75 m/dak kesme hızında Kaplamasız karbür kesici takım için elde edilen sonuçlarda yaklaşık olarak % 83 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama ise; 150 m/dak kesme hızında Al_2O_3 kaplı kesici takımında elde edilen sonuçlarda % 99,2 seviyesindedir.



Şekil 6.11 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde ilerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

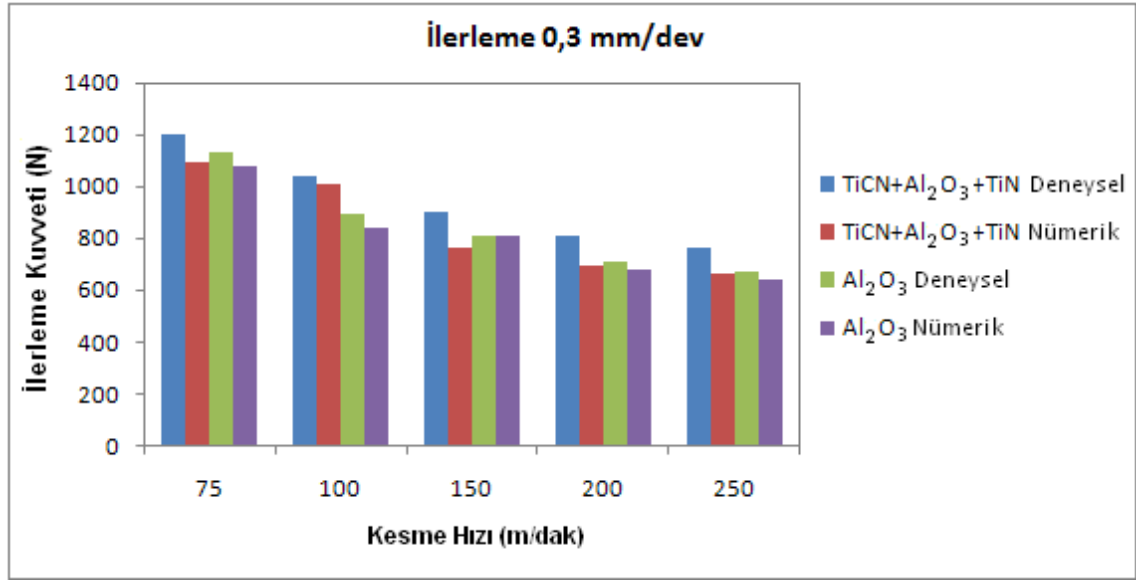


Şekil 6.12 Kaplamasız karbür ve Al₂O₃ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde İlerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 6.12’de kaplamasız karbür kesici takım ile Al₂O₃ kaplı kesici takımlar için elde edilen ilerleme kuvvetlerinin birbirleriyle karşılaştırılması verilmiştir. Yine bu grafikte de, kesme hızının artışı ile ters orantılı olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Dikkati çeken diğer nokta ise, 200 ve 250 m/dak kesme hızlarında kesme kuvvetlerindeki düşüş ivmesinin azaldığıdır.

Literatüre bakıldığında elde edilen ilerleme kuvveti (veya bazı durumlarda pasif kuvvet) verileri ile deneysel sonuçlar arasındaki fark % 40 ve % 50’leri bulabilmektedir (Özel 2006, Apaydın 2009). Bununla birlikte takım talaş ara yüzeyinde tanımlanan sürtünme modelinin yetersizliğidir. İlerleme kuvveti ile deneysel veriler arasındaki yakınsamanın artması için kayma sürtünme faktörü (μ) arttırılır. Fakat bu durumda asıl kesme kuvveti değerleri büyük çıkacaktır. Dolayısıyla kayma sürtünme faktörünün tek başına arttırılması yeterli değildir. Özel (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı sürtünme modelleri kullanılarak, bu modellerin kesme kuvveti üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 6.12 ve 6.13 beraber incelenecek olursa, Al₂O₃ kaplı kesici takım için elde edilen ilerleme kuvveti değerleri birbiri ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilir. Apaydın (2009) tarafından yapılan benzer bir çalışmada deneysel ve nümerik pasif kesme kuvvetleri arasındaki fark, artan kesme hızıyla artmaktadır. Özellikle Al₂O₃ kaplı kesici takım için bu fark oldukça yüksektir.



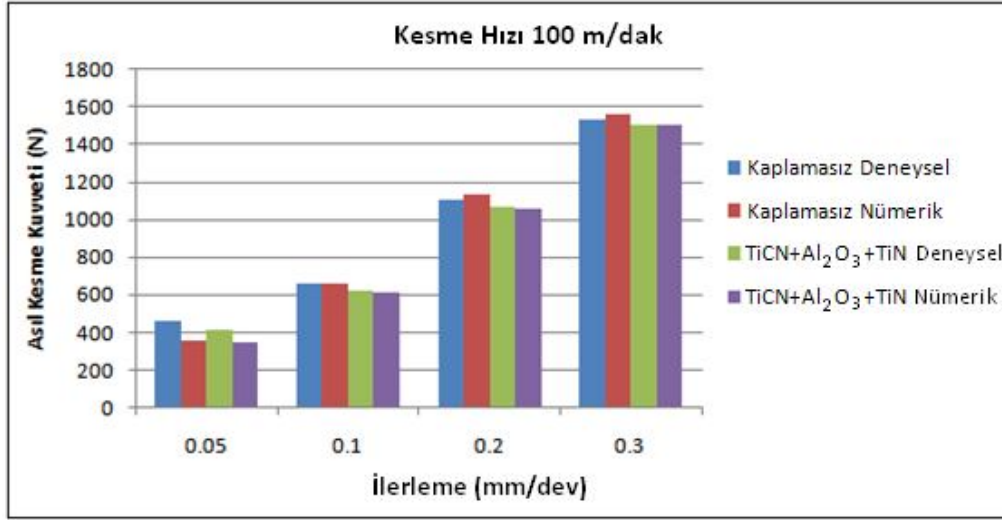
Şekil 6.13 TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃ kaplı kesici takımlar ile yapılan kesme işleminde İlerleme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması.

6.2.2 İlerlemenin Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi

İlerlemenin artması birim zamanda kesici takıma etkiyen basıncın artmasına neden olacaktır. Kesme kuvvetlerindeki artışın talaş kesiti ile lineer olarak gerçekleştiği daha önceki yapılan çalışmalarda (Ucun vd. 2007, Köse et al. 2008, Uday et al. 2009) ifade edilmiştir.

Deneysel ve nümerik çalışmalar sonucunda ilerlemenin asıl kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi de elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ilk dikkat çeken sonuç, ilerleme hızındaki artışla birlikte kesme hızının da artmasıdır. 100 m/dak kesme hızında yapılan değerlendirmede, en küçük kesme kuvveti değeri Al₂O₃ kaplı kesici takımla 0,05 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 350 N olarak görülmüştür. Buna mukabil en büyük kesme kuvveti değeri ise, WC kesici takımla 0,3 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde yaklaşık 1560 N olarak tespit edilmiştir. İlerleme hızındaki artışın kesme

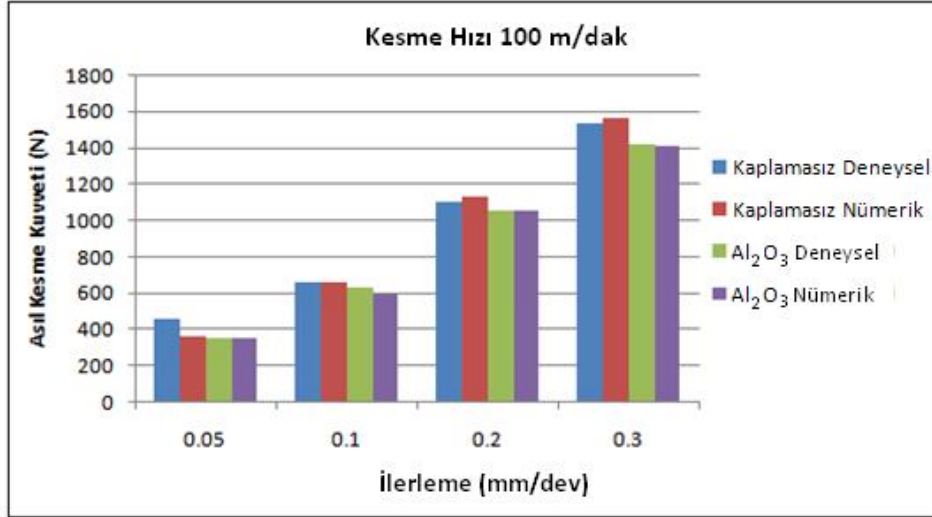
kuvvetleri üzerindeki etkisi her bir kesici takım ile elde edilen sonuçlarda da net bir şekilde görülmektedir. İlerleme hızındaki % 100' lük bir artışla birlikte kesme kuvvetleri yaklaşık olarak her üç kesici takım için de % 65-75 oranında artmıştır.



Şekil 6.14 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al₂O₃+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 talaşın kesitini doğrudan etkilemektedir. Artan talaş kesiti ile birlikte, birinci deformasyon bölgesinde bulunan kayma düzlemi alanı da büyümekte ve kesme işlemini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kesme kuvvetleri artmaktadır. Grafiklerde elde edilen diğer bir sonuç ise, deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki uyumdur. Özellikle Al₂O₃ kaplı kesici takım ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımdan elde edilen sonuçlar arasındaki uyum bütün ilerleme hızlarında çok yakın düzeydedir. Fakat ilerleme hızındaki artışla birlikte bir miktar farkın arttığı görülmektedir. Al₂O₃ kaplı kesici takımdan elde edilen verilerde sonuçlarda ise, daha istikrarlı bir sonucun olduğu görülmektedir. Bütün kesici takımlar gözönüne alındığında, en kötü şartlarda deneysel ve nümerik sonuçlar arasında % 78'lik bir uyumun olduğu görülmektedir. En iyi uyum ise, Al₂O₃ kaplı kesici takım ile 0,05 ve 0,2 mm/dev ilerleme hızında % 99,4, WC kesici takımla 0,1 mm/dev ilerleme hızında % 99,7 ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımla

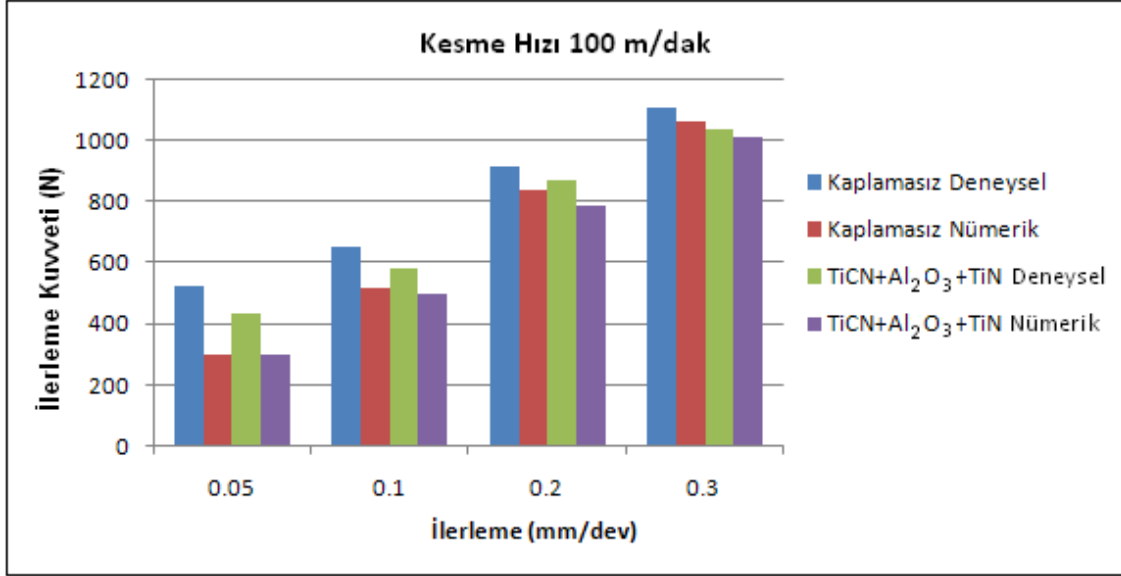
0,3 mm/dev ilerleme hızında yaklaşık olarak % 99,9' luk bir uyum söz konusudur. En düşük kesme kuvvetleri Al_2O_3 kaplı kesici takım ile yapılan kesme işleminde elde edilirken, en büyük kesme kuvvetleri ise, WC kaplamasız kesici takım ile yapılan kesme işleminde görülmüştür.



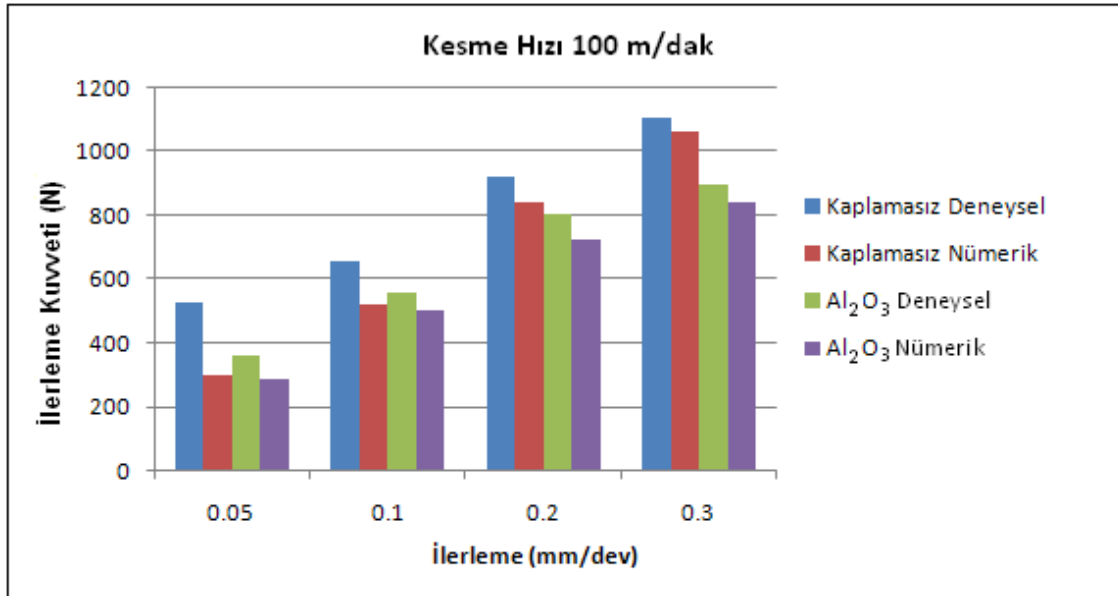
Şekil 6.15 Kaplamasız karbür ve Al_2O_3 kaplı kesici takım için elde edilen kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.

İlerleme hızının pasif kuvvetler üzerindeki etkisi Şekil 6.16 ve 6.17’de 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 kaplı kesici takım ile yapılan kesme işleminde 290 N olarak görülürken, buna karşılık en büyük kuvvet ise; kaplamasız karbür kesici takım ile 0,3 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde 1104 N olarak elde edilmiştir. Sonuçlarda bir başka nokta ise, deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki uyumdur. Özellikle Al_2O_3 kaplı kesici takım ile ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takım ile her bir ilerleme hızı için yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda, % 97’e varan bir yakınsamanın olduğu görülmektedir. Bu sonuç oldukça tatmin edicidir. Kaplamasız karbür kesici takım ile yapılan kesme işleminde ise; deneysel ve nümerik sonuçlar arasında nispeten fazla bir farkın olduğu görülmektedir.

Bir başka dikkati çeken nokta ise, ilerleme hızındaki artış ile deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki yakınsamanın ciddi şekilde artışıdır.



Şekil 6.16 Kaplamasız karbür ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takım için elde edilen ilerleme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.



Şekil 6.17 Kaplamasız karbür ve Al₂O₃ kaplı kesici takım için elde edilen ilerleme kuvvetlerinin ilerleme hızına bağlı olarak değişimi.

6.3 Kesme Parametrelerinin Talaş Biçimine Etkisi

Kaplama türünün talaş şekli üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla benzer kesme şartlarında farklı kesici takımlardan elde edilen talaş şekli Resim 6.1’de verilmektedir. Şekilde dikkati çeken ilk unsur; kesici takımın kaplamalı olup olmaması talaş şeklini önemli oranda etkilemektedir. Kaplamasız karbür kesici takımda elde edilen talaş şekli ISO 3685 standardında verilen kısa şerit talaş şekline daha çok benzemektedir. TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takım ile yapılan kesme işleminde talaş şekli helisel bir form alırken, Al₂O₃ kaplı kesici takım için talaş şekli daha çok konik helisel bir forma sahiptir.



Resim 6.1 Kaplamanın talaş şekli üzerindeki etkisi (V= 75m/dak, f=0,05 mm/dev).

Talaş şeklinin bu denli ciddi bir derinliğe değişikliğe uğramasının altında yatan sebep; kaplamasız karbürün ve kaplama malzemelerinin sahip olduğu farklı termal iletkenlik katsayısıdır. Kullanılan takım kaplamasız olduğunda (WC), ortaya çıkan ısının bir kısmı takıma iletilecektir. Kaplamalı kesici takım kullanıldığında ise, kaplama malzemesi takıma iletilen ısı için bir termal bariyer özelliği üstlenecektir. Bunun sonucunda takıma, kesme esnasında ortaya çıkan ısının kaplamasız takıma oranla daha büyük bir kısmı talaşa iletilecektir. Nihayetinde talaşın temas eden yüzeyi ile serbest yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı artacaktır. Bu da talaşın daha çok kıvrılmasına neden olacaktır (Şekil 6.18). Resim 6.2’de ise hem kesme hızı hem de ilerlemenin maksimum değerleri verilmiştir. Artan ilerleme değeri WC ve TiCN+Al₂O₃+TiN için elde edilen talaş şeklinde bir değişime neden olduğu açıktır.



Resim 6.2 Kaplamanın talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 250\text{m/dak}$, $f=0,3 \text{ mm/dev}$).



Resim 6.3 İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 250\text{m/dak}$, Al_2O_3).

İlerlemenin etkisini daha net olarak ortaya koymak amacıyla aynı kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde elde edilen talaş şekilleri Resim 6.3, 6.4 ve 6.5'te verilmektedir. Bu üç resimde verilen talaş şekilleri dikkatle incelenecek olursa ilerlemenin, kaplama kadar talaş şekli üzerinde belirleyici olmadığı söylenebilir. Fakat yine de talaş formunun bir miktar değişimine neden olmaktadır. Bu durum özellikle Al_2O_3 ve $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ kaplı kesici takım için daha nettir. Kaplamasız kesici takımda ilerlemenin artması sadece deforme olmuş talaş kalınlığının artmasına neden olmuştur (Resim 6.5).



Resim 6.4 İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V= 150\text{m/dak}$, $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$).



Resim 6.5 İlerlemenin talaş şekli üzerindeki etkisi ($V = 75 \text{ m/dk}$, Kaplamasız).

Kesme hızının makro boyutta talaş formu üzerindeki etkisini incelemek için alınan talaşların fotoğrafları Resim 6.6, 6.7 ve 6.8’de verilmektedir. Görüldüğü üzere, AISI 316L malzemesinin işlenmesinde kesme hızının talaş formu üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Elde edilen bulgular düşük ilerleme değerlerindeki çıkan talaşların daha koyu bir renk aldığını göstermiştir. Bunun da nedeni; deforme olmamış talaş kalınlığının düşük olması, çıkan talaş kesitinin de küçülmesine, dolayısıyla kesme sıcaklığından daha çok etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Resim 6.6 Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f = 0,1 \text{ mm/dev}$, Kaplamasız).



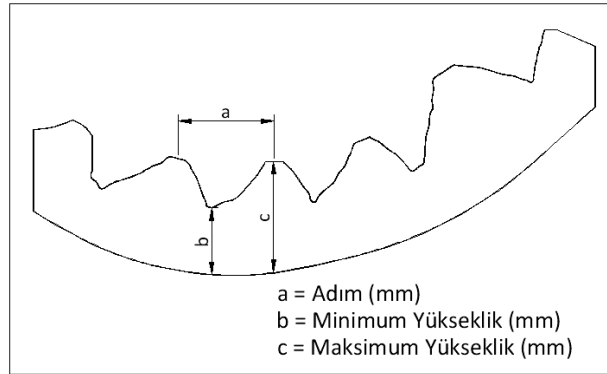
Resim 6.7 Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f = 0,05 \text{ mm/dev}$, $\text{TiCN} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$).



Resim 6.8 Kesme hızının talaş şekli üzerindeki etkisi ($f = 0,05$ mm/dev, Al_2O_3).

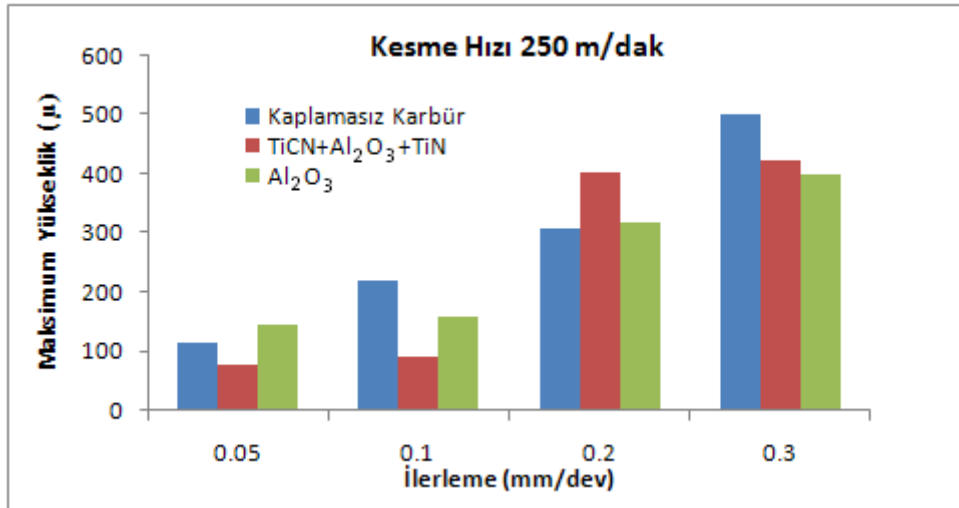
6.4 Oluşan Talaş Şekillerinin SEM (Scanning Electron Microscope-Tarayıcı Elektron Mikroskobu) Analizi

Yapılan deneysel çalışma sonrasında elde edilen talaşların bir kısmının SEM (Tarayıcı Elektron Mikroskobu) fotoğrafları alınmıştır. Talaşların SEM görüntülerinden faydalanılarak testere talaş tipinin maksimum yüksekliği (valley), minimum yüksekliği (peak) ve adım (pitch) değerleri ölçülmüştür (Şekil 6.18).



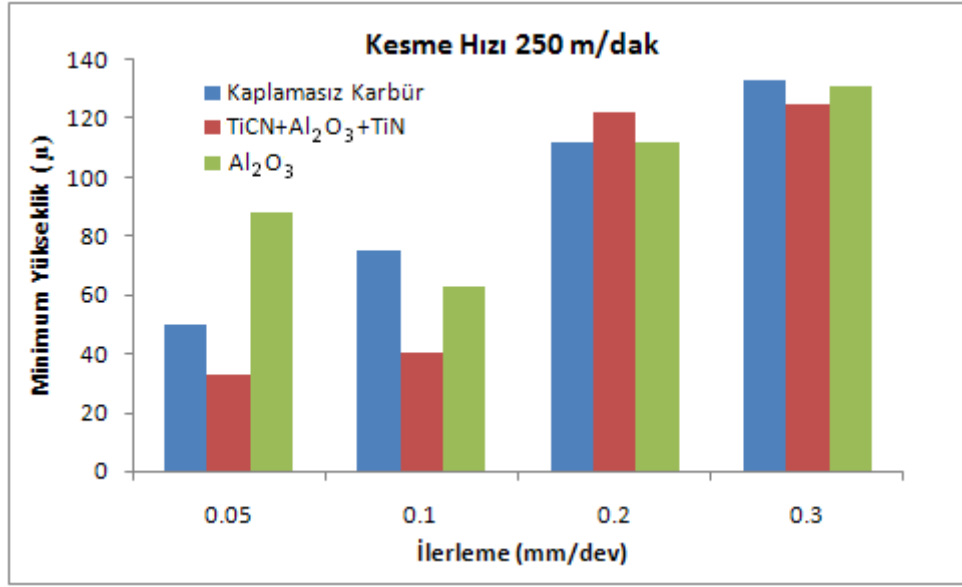
Şekil 6.18 Talaş geometrisi.

İlerleme hızı kesme işlemini etkileyen önemli etkenlerden biridir. Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21’de sabit kesme hızında (250 m/dak) farklı ilerleme değerlerinde elde edilen talaş geometrisi ölçülerinin kaplama türüne göre değişimi verilmiştir. Her üç şekli birlikte değerlendirdiğimizde ilerleme hızındaki artışla maksimum, minimum yükseklik ve adım ölçülerinde bir artışın olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni, ilerlemenin artması ile takım-talaş temas boyunun ve deforme olmuş talaş kesitinin artmasıdır.

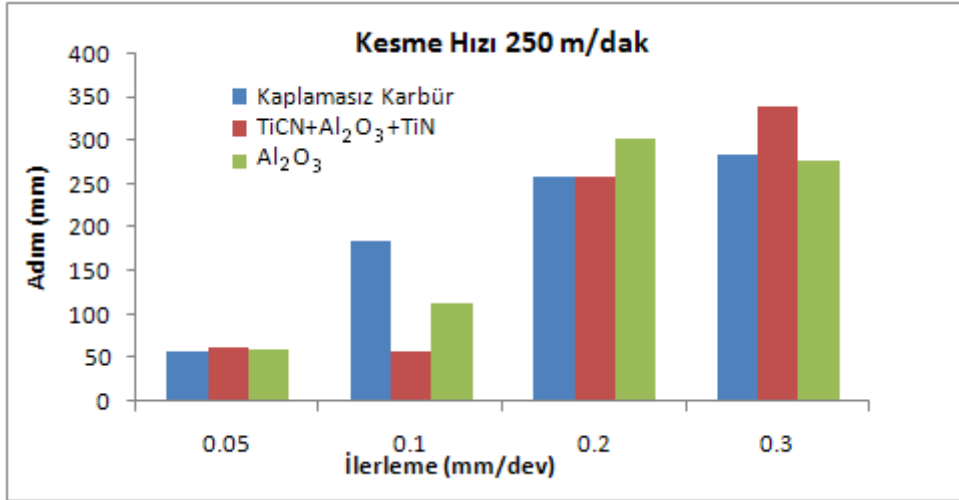


Şekil 6.19 Talaşlarda oluşan maksimum yükseklik değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi.

Bir diğer dikkati çeken nokta ise; elde edilen talaş geometrisi ölçülerinde kaplama türüne göre farklılık olmasıdır. Şekil 6.19’da kaplamasız karbür takım için, ilerlemenin artması ile elde edilen maksimum yükseklik değerinin lineer bir şekilde arttığı görülmektedir. Fakat aynı şekilde yer alan kaplama yapılmış takımlarda bu durum söz konusu değildir. TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımla yapılan deneylerde düşük ilerleme hızlarındaki (0,05 ve 0,1 mm/dev) maksimum yükseklik değerleri neredeyse aynı olduğu, bu duruma paralel olarak yüksek kesme hızlarındaki (0,2 ve 0,3 mm/dev) maksimum yükseklik değerlerinin de çok yakın olduğu dikkati çekmektedir. Benzer durum Al₂O₃ kaplı kesici takım içinde geçerlidir; 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme değerindeki sonuçlar çok yakın 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme değerindeki sonuçlar çok az bir farklılık göstermektedir. Genel olarak bir değerlendirme yaptığımızda en yüksek değerlerin kaplamasız karbür kesici takımdan, en düşük değerlerin ise Al₂O₃ kaplı kesici takımdan elde edilen sonuçlarda olduğu görülmektedir.

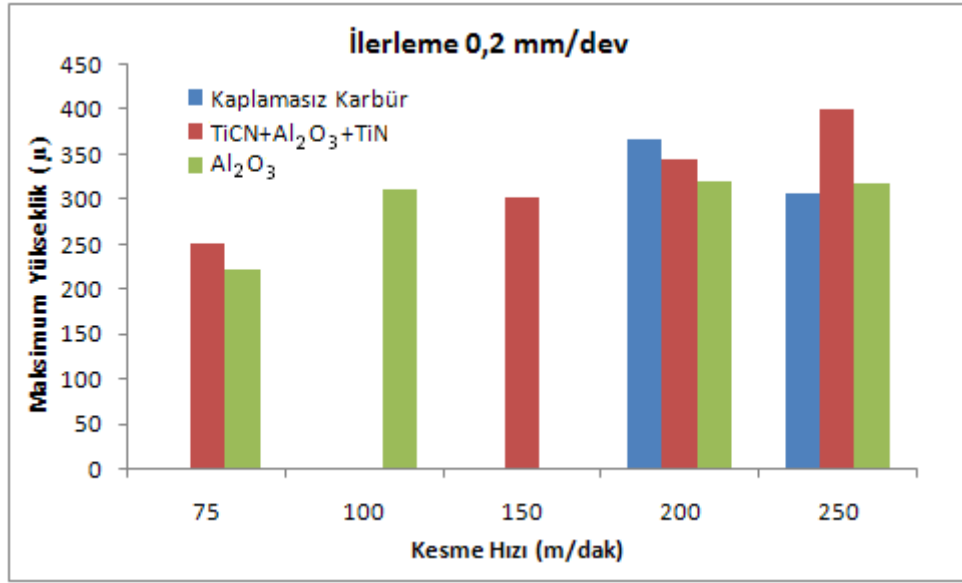


Şekil 6.20 Talaşlarda oluşan minimum yükseklik değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi.



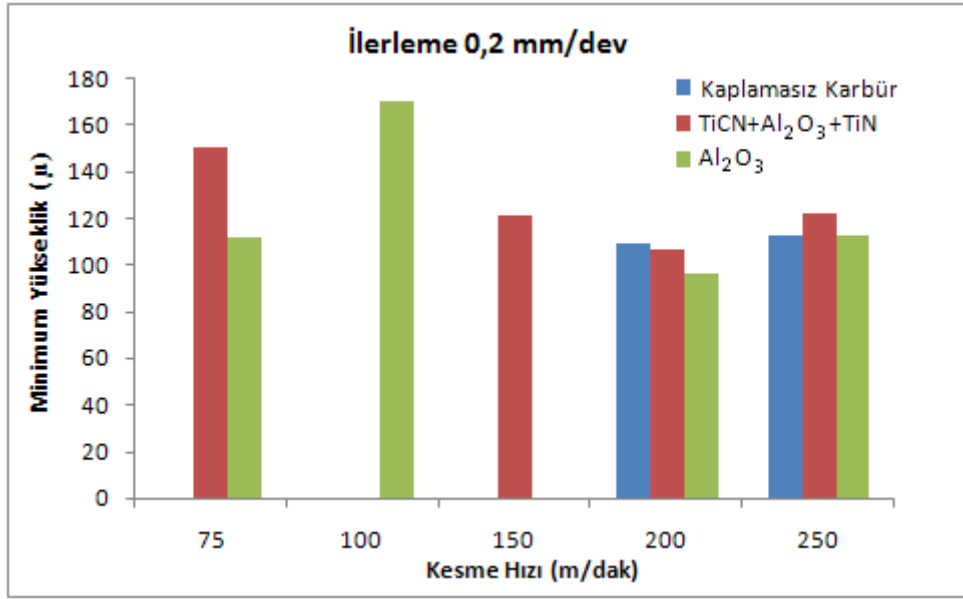
Şekil 6.21 Talaşlarda oluşan adım değerinin ilerleme ve kaplama türüne göre değişimi.

Şekil 6.20 ve 6.21'e baktığımızda maksimum yükseklik değerindeki durumun benzeri bir durum görülmektedir. Yine burada da ilerleme değerinin artması ile üç kesici takımında da minimum yükseklik ve adım değerleri artmaktadır. Bu durumun kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı değerlerine paralellik gösterdiği dikkati çekmektedir (Şekil 6.14, 6.15, 6.25).



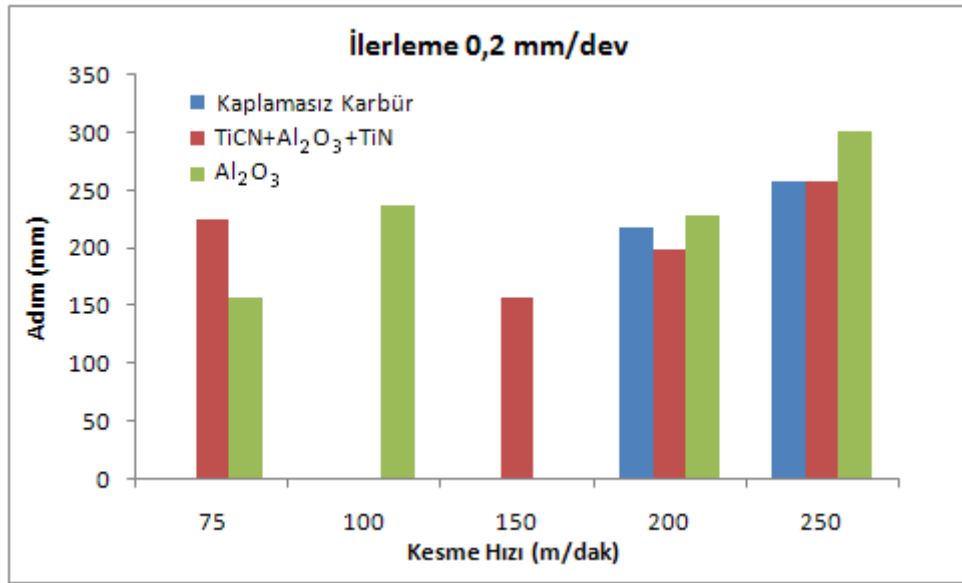
Şekil 6.22 Talaşlarda oluşan maksimum yükseklik değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi.

Şekil 6.22, 6.23 ve 6.24’de sabit ilerleme değerinde (0,2 mm/dev) farklı kesme hızlarındaki talaş geometrisi ölçülerindeki değişim verilmiştir. Kesme hızına bağlı olarak sonuçların çok fazla farklılık göstermediği şekillerden açıkça görülmektedir. Bu noktada kesme hızı ilerleme hızına göre sonuçları daha az oran da etkilemektedir. Beş farklı kesme hızına baktığımızda 200 m/dak kesme hızındaki minimum yükseklik ve adım değerleri her üç kesici takımında da çok yakın olduğu görülmektedir. Dikkati çeken farklı bir durum ise en yüksek değerlerin kaplamasız karbür kesici takımında değil TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımında olmasıdır.



Şekil 6.23 Talaşlarda oluşan minimum yükseklik değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi.

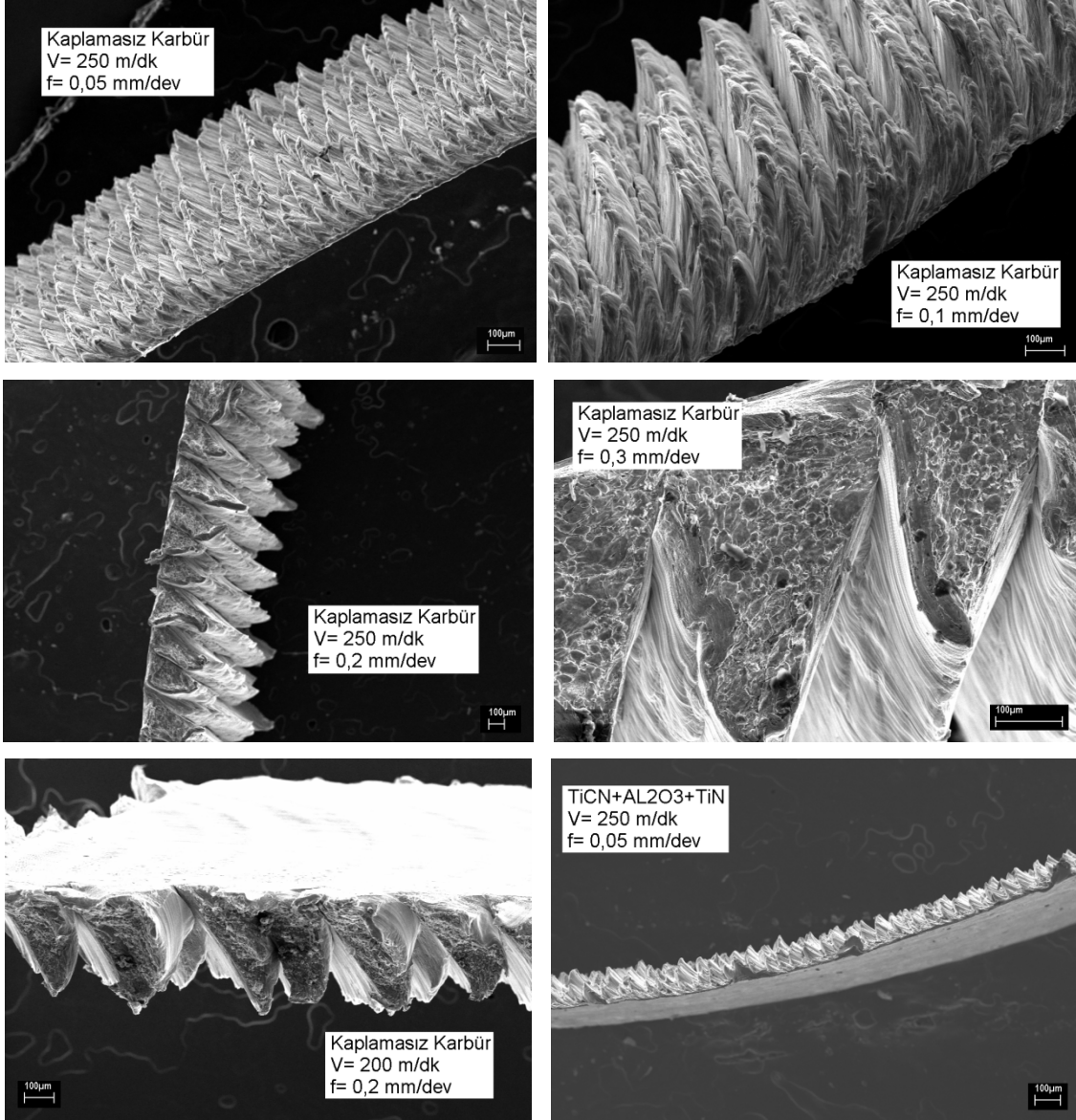
Şekil 6.23’de en yüksek minimum yükseklik değerinin 100 m/dak kesme hızında Al₂O₃ kaplı kesici takımda gerçekleştiği görülmektedir. En düşük talaş geometrisi değeri kaplamasız karbür kesici takımında olmuştur. Görüldüğü gibi elde edilen değerlerde düzenli bir düşüş veya düzenli bir artış söz konusu değildir. Yine Şekil 6.24’de de düzenli bir durumun olmadığı görülmektedir. Fakat burada yüksek kesme hızlarında üç kesici takımdan elde edilen değerlerin yakın olması dikkati çekmektedir.

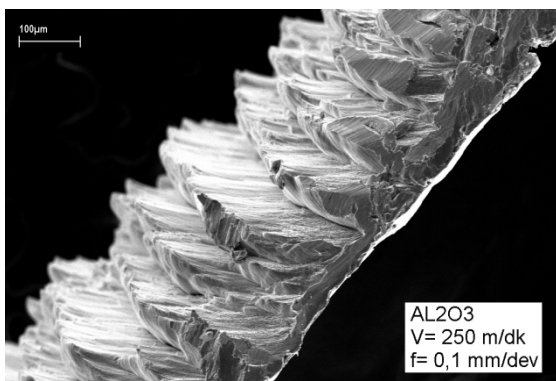
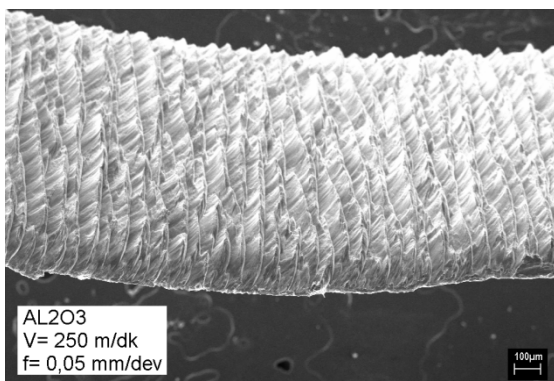
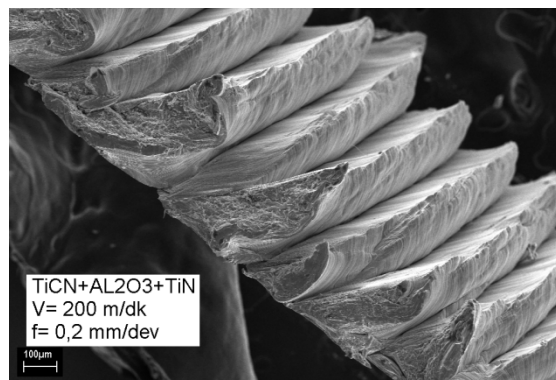
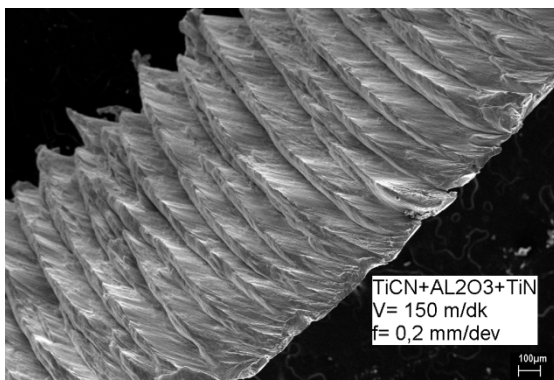
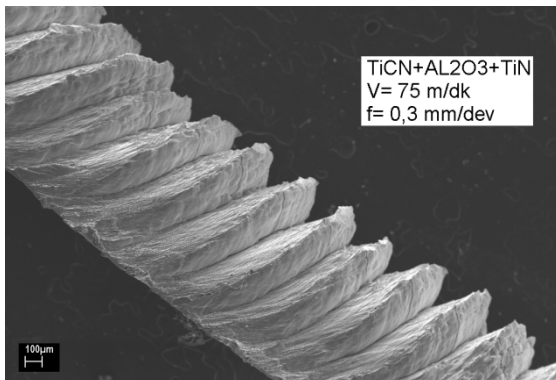
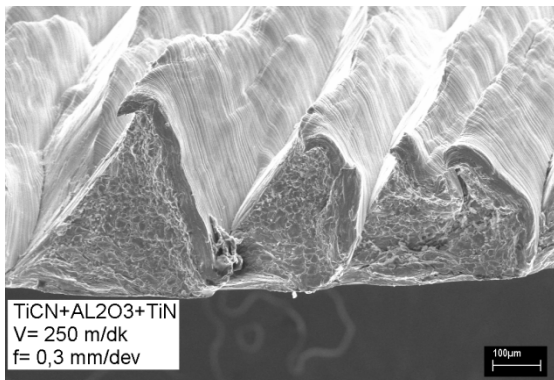
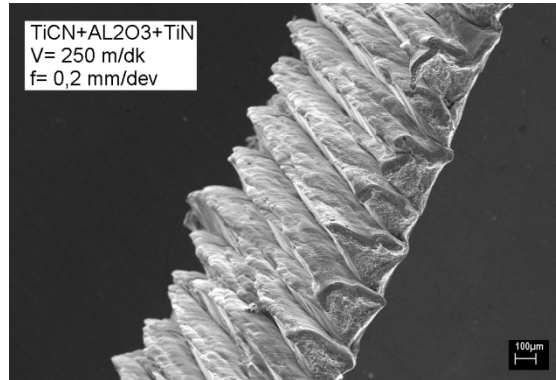
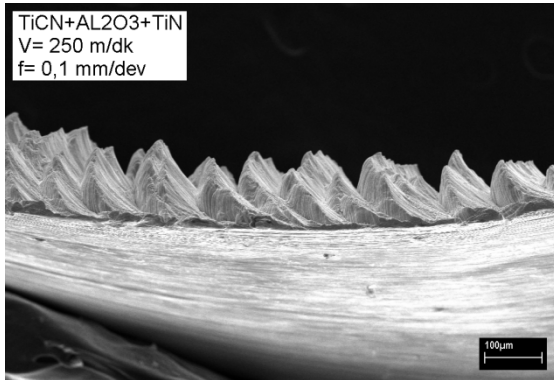


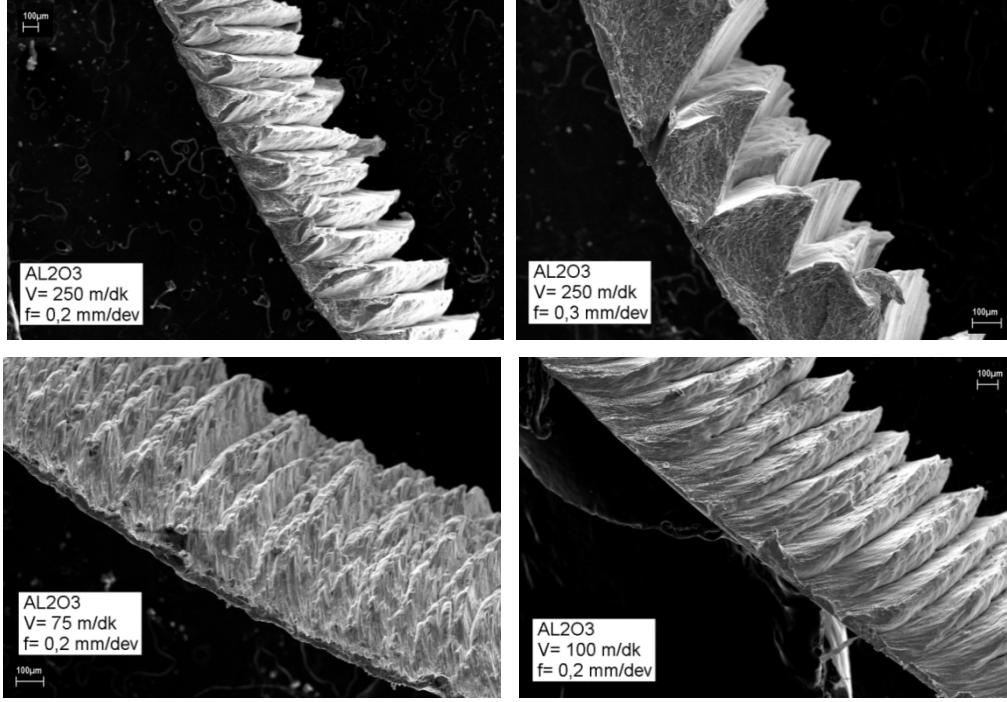
Şekil 6.24 Talaşlarda oluşan adım değerinin kesme hızı ve kaplama türüne göre değişimi.

Resim 6.9’da deneysel çalışmada elde edilen talaşların SEM görüntüleri yer almaktadır. Burada dikkati çeken ilk nokta kaplamasız karbür kesici takım ile elde edilen talaşların yüzeylerinde diğer iki kesici türünle elde edilen talaşlara göre çok daha bozuk talaş yüzeyinin olmasıdır. Bu düzensiz yüzeyler yüzey kalitesinin kötü ve kesici takımın daha çabuk aşınacağını göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü düşük malzemeler ve takım ömrünün uzun olması istendiğinde kaplamalı kesici takımların tercih edilmesinin nedeni budur. Literatürde yer alan bu bilginin doğruluğu yapılan deneylerle kanıtlanmıştır (Nalbant vd. 2009, Şahin ve Motorcu 2008, Martinho et al. 2007). Kaplamasız karbür kesici takım ile elde edilen talaşların kayma yüzeylerinin diğer iki kesici takım için elde edilen kayma yüzeylerine göre daha pürüzlü oluşmasının en önemli nedeni, kaplamasız takımın termal iletkenlik katsayısının diğer kesici takımlardan daha yüksek olmasıdır. Kesme işleminde hem takım da hem de iş parçasında kesme sıcaklığı oluşmaktadır. Bu sıcaklığın büyük kısmı takım ile talaşa aktarılmaktadır. Takım-talaş ara yüzeyinde yeterince ısı oluşursa iş parçası genleşeceğinden daha iyi şekil alır ve talaş iş parçasından kolay kopar. Kaplamasız karbür kesici takım ile elde edilen talaş görüntülerinin bozuk olmasının nedeni de bu durum ile açıklanabilir. Takımda oluşan sıcaklık iş parçasına yeterince aktarılamamıştır ve pürüzlü talaş yüzeyleri elde

edilmiştir. Bu durumun aksine kaplamalı kesiciler ile elde edilen talaşların yüzeyleri daha düzgündür. Kaplamalı takımların termal iletkenlik katsayısı kaplamasız takımdan daha düşük olduğu için takımda oluşan sıcaklığın çoğu takım-talaş ara yüzü ile talaşa aktarılmaktadır. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen talaş türü Merchant'ın talaş modelindeki ideal talaş türü ile örtüşmektedir (Merchant 1945).







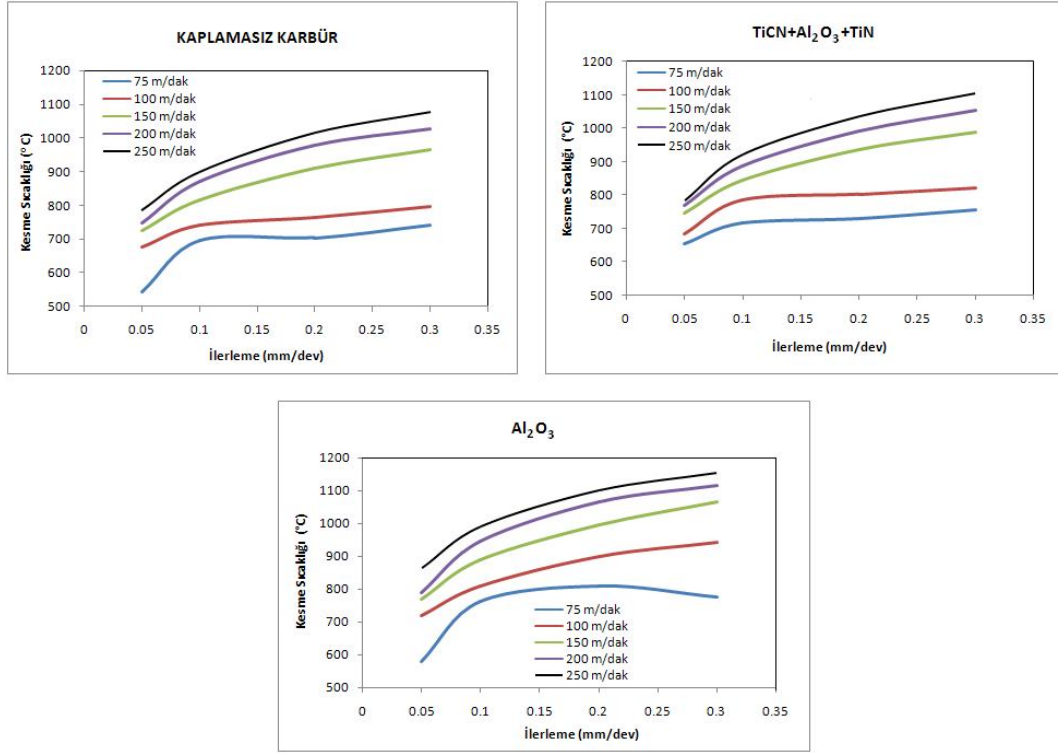
Resim 6.9 Deneylerden elde edilen talaşların SEM görüntüleri.

6.5 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 6.25’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, 0,3 mm/dev ilerleme hızında görülmektedir.

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 (Rech et al. 2004). Özellikle ilerleme hızının artması birinci deformasyon

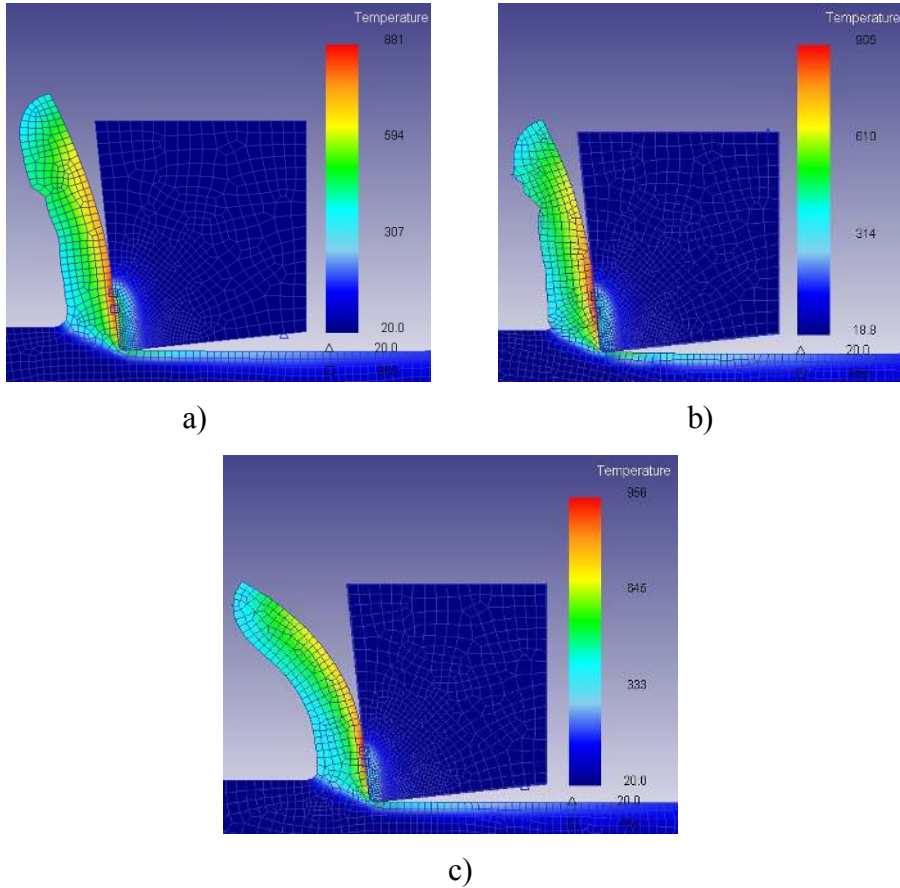
bölgesindeki kayma yüzey alanını artırmaktadır ve dolayısıyla talaşı yüzeyden koparmak için daha fazla bir enerji sarf edilmesi gerekmekte ve harcanan bu enerjinin sonucunda daha fazla ısı açığa çıkmaktadır. Ayrıca talaş kesitindeki artışla birlikte ikinci deformasyon bölgesinde, takım-talaş ara yüzünde sürtünme artmakta dolayısıyla kesme sıcaklığını da etkilemektedir.



Şekil 6.25 İlerleme hızına bağlı olarak takım üzerindeki kesme sıcaklığının değişimi.

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 (Ng and Aspinwall 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 kaplamasız karbür kesici takıma nazaran termal iletkenlik katsayılarının düşük olması

oluşan sıcaklığı kesme bölgesinden daha az uzaklaştırmaktadırlar. 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 6.8). Bu doğrultuda 250 m/dak kesme hızında ve 0.3 mm/dev ilerleme hızında yapılan bir değerlendirmede maksimum kesme sıcaklığı Al_2O_3 kaplı kesici takımla yapılan kesme işleminde yaklaşık olarak 1155 °C olarak görülürken, minimum kesme sıcaklığı ise, kaplamasız kesici takımla yaklaşık olarak 1078 °C olarak elde edilmiştir. Umbrello et al. (2007), tarafından yapılan çalışmada kaplamasız karbür kesici için kesme sıcaklığı deneysel olarak 1050 °C bulunmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan malzeme modelinin ve sınır şartlarının doğruluğu elde edilen sıcaklık verileriyle de ortaya konulmuştur.



Şekil 6.26 Nümerik modellemeye 200 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan sıcaklığın dağılımı

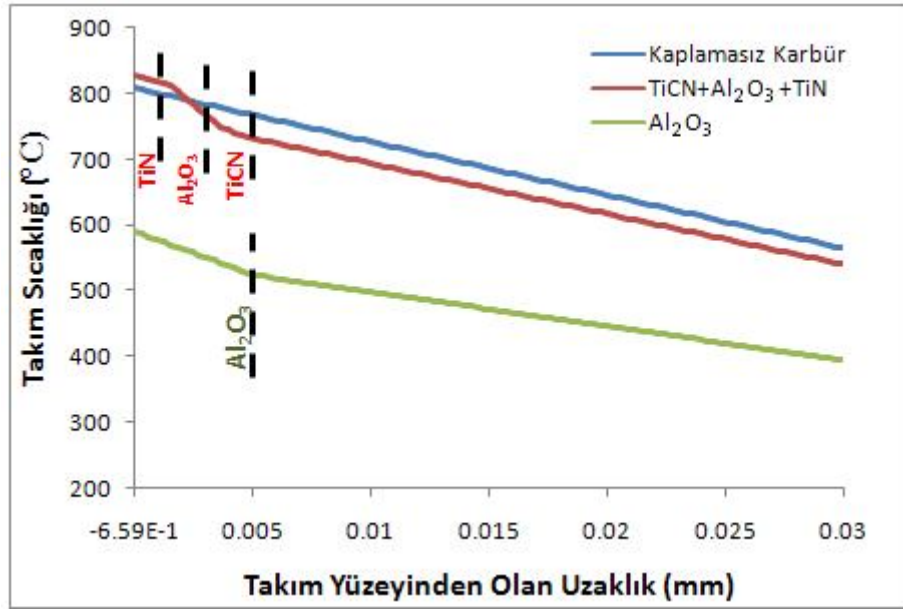
a) Kaplamasız b) $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ c) Al_2O_3

6.6 Takım Sıcaklığının Değişimi

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

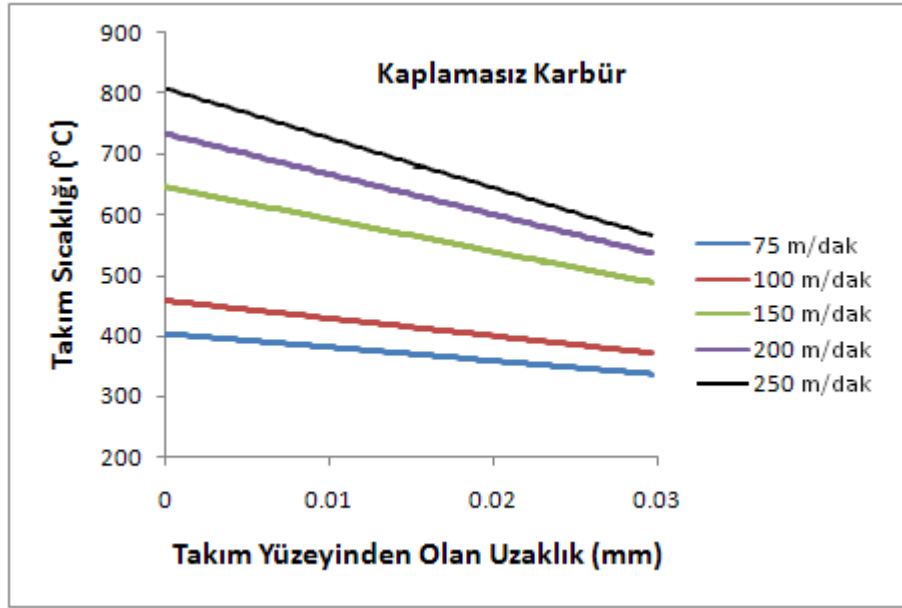
Şekil 6.27 ve 6.28’de kesme esnasında kaplanmış ve kaplanmamış kesici takımlarda meydana gelen sıcaklığın derinliğe bağlı olarak değişimi verilmiştir. Dikkat edilecek olursa, kaplanmamış kesici takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklık derinliğe bağlı olarak lineer bir azalma eğilimi göstermektedir. Buna karşın kaplama yapılmış 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 %25 daha düşük olduğu görülmektedir. Bununda 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 ta kesme anında meydana gelen kesme sıcaklığı da artmaktadır. Özellikle birinci ve ikinci deformasyon bölgelerindeki kesme sıcaklığının artması, takımın daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına neden olmaktadır. Şekil 6.28’de 250 m/dak kesme hızında her bir takımda meydana gelen sıcaklığın derinlik boyunca değişimi verilmiştir. Şekil 6.27 ve 6.28 beraber değerlendirildiğinde, kesme hızının %60 artmasıyla maksimum sıcaklık değeri kaplamasız kesici takımda %23, Al_2O_3 kaplı kesici takımda %18 ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takımda %34 oranında artmaktadır. Bununla birlikte her iki grafikte dikkati çeken bir unsurda kaplamasız ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici

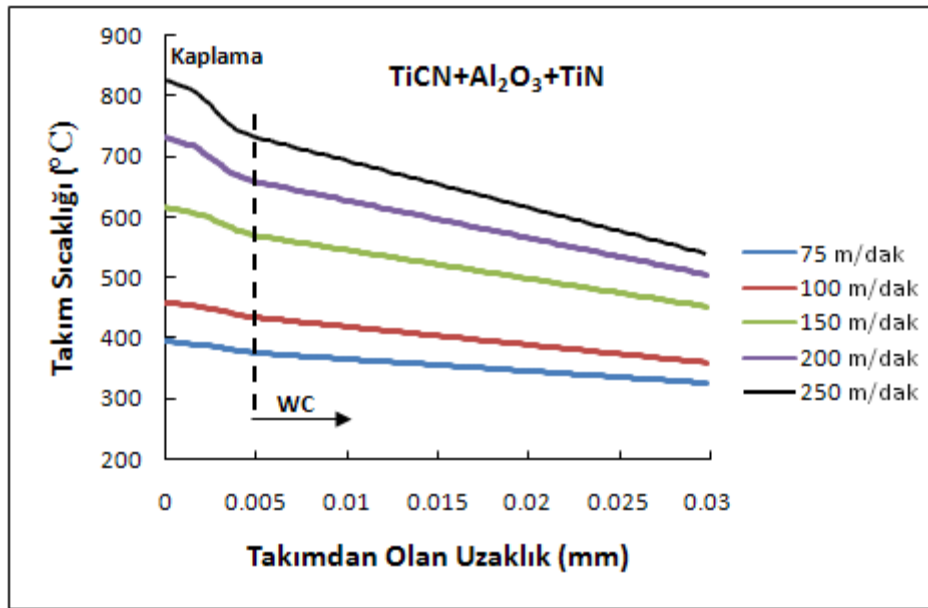


Şekil 6.28 250 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi.

Şekil 6.29, 6.30 ve 6.31’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 6.30 ve 6.31’de toplam kaplama kalınlığı boyunca sıcaklık ciddi oranda düşüş göstermektedir. Özellikle Şekil 6.30’a dikkat edilecek olursa, artan kesme hızıyla birlikte kaplama bölgesindeki sıcaklık düşüşündeki eğim de artmaktadır. Bir anlamda bu Al₂O₃ kaplama malzemesinin termal iletkenliğinin artan sıcaklıkla azaldığının bir göstergesidir.

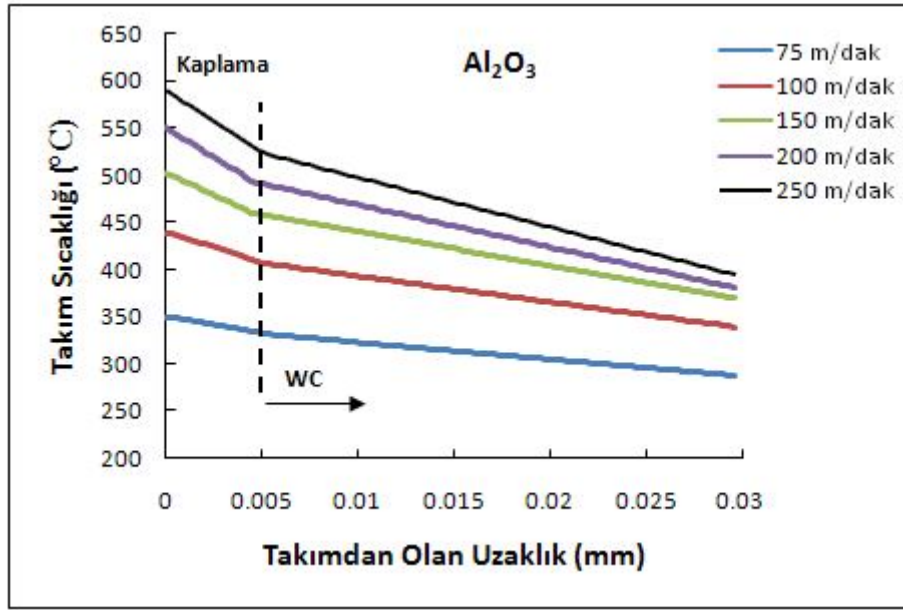


Şekil 6.29 Farklı kesme hızlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi.



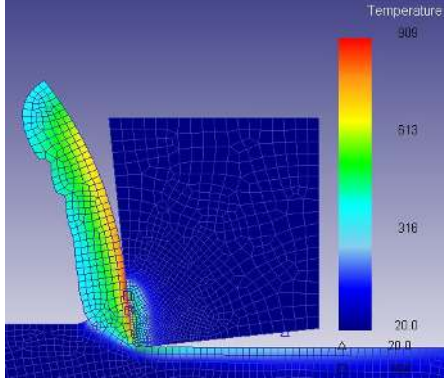
Şekil 6.30 Farklı kesme hızlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi.

Çok kaplamalı kesici takım olarak kullanılan $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ kaplı kesici takım yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın derinliğe bağlı değişimi kaplamasız (Şekil 6.29) ve Al_2O_3 kaplı (Şekil 6.31) kesici takıma nazaran bir miktar farklılık göstermektedir (Şekil 6.30). Dikkat edilecek olursa, $V \geq 200$ 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.

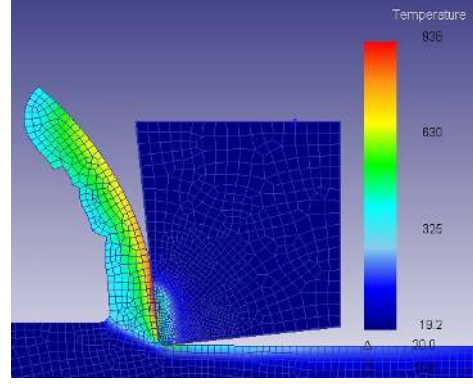


Şekil 6.31 Farklı kesme hızlarında ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde yapılan kesme işleminde takım sıcaklığının değişimi.

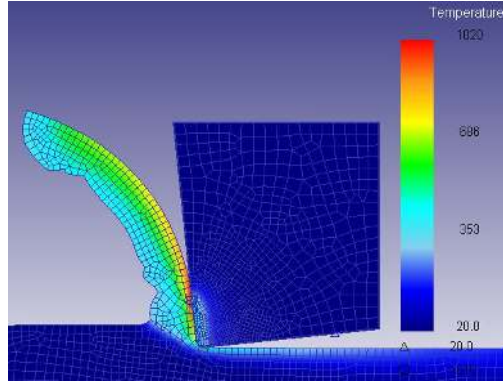
Şekil 6.32’de kaplanmış ve kaplanmamış kesici takımlara ait sıcaklık dağılımları verilmektedir. Şekil 6.32-a’da verilen kesme işlemi kaplamasız kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Dikkate edilecek olursa bu kesici takıma etkiyen sıcaklık takım yüzeyinden daha geniş bir alana yayılmaktadır. Oysaki Şekil 6.32-b ve c’de kaplamalı kesici takımların yüzeyindeki sıcaklık dağılımları oldukça küçük bir alanda etkili olmaktadır. Özellikle Al_2O_3 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.



a)



b)



c)

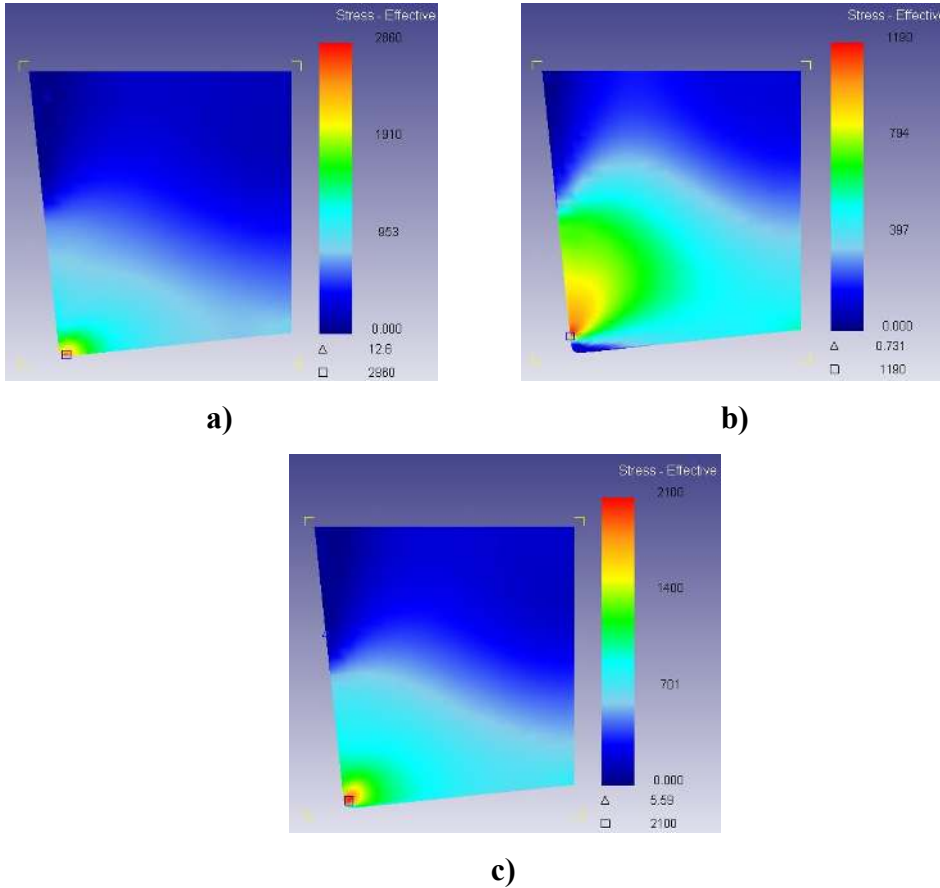
Şekil 6.32 Nümerik modellemede 250 m/dak kesme hızında 0,1 mm/dev ilerleme hızında kesme esnasında oluşan kesici takım üzerindeki dağılımı.

a) Kaplamasız b) TiCN+AL₂O₃+TiN c) Al₂O₃

Şekil 6.32’de başka bir noktaya dikkati çekmek istersek talaş kıvrılma yarıçaplarındaki farklılık göze çarpmaktadır. Kullanılan kesici takımdaki kaplama türlerine göre talaşların şekilleri değişmektedir. Şekil 6.32-a’da oluşan talaşın kıvrılma yarıçapı diğer şekillere göre oldukça fazladır. Kaplamasız takım ile elde edilen talaştaki kıvrılma yarıçapı her koşulda kaplama yapılan kesici takımlarla elde edilen talaş kıvrılma yarıçapından daha büyük değerlerde oluşmaktadır. Kaplamalı takımlarda termal iletkenlik katsayısı kaplamasızlara göre daha düşük olduğu için kesme esnasında oluşan ısı kaplamalı takımlarda takıma geçmeden büyük oranda talaşa iletilir. Bu da kayma bölgesindeki ısının artmasına ve talaşın malzemeden daha kolay kopmasına neden olmaktadır. İş parçasından kolayca ayrılan talaşın kıvrım yarıçapı, daha zor kopan talaşın kıvrım yarıçapından daha küçük olmaktadır. Talaş kıvrım yarıçapının düşük olması talaşın malzemeden kolaylıkla koparıldığının göstergesidir.

6.7 Kesici Takımdaki Gerilmelerin Değişimi

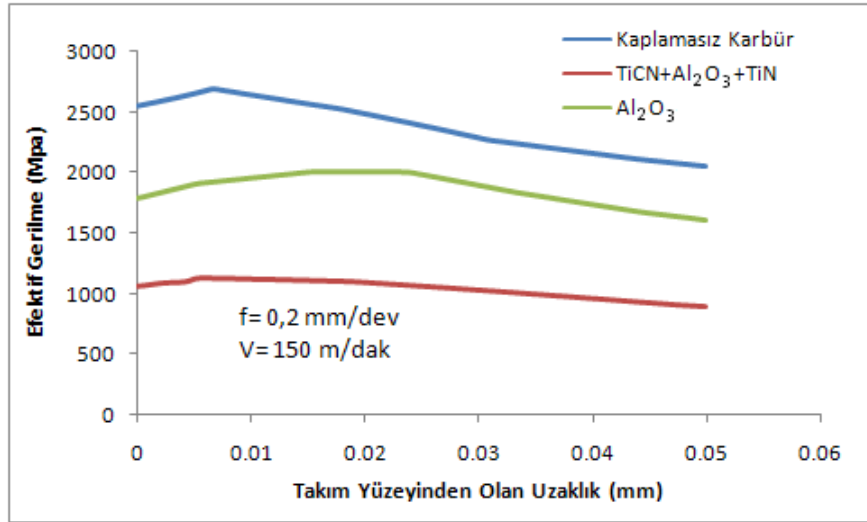
Kesici takımda meydana gelen gerilmenin dağılımını deneysel olarak tespit etmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle nümerik çözüm yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar takım tasarımcısına ön fikir vermektedir. Bu çalışmada da takım yüzeyine etkiyen efektif gerilme dağılımı farklı takım türleri için Şekil 6.33’de verilmektedir. Her üç takımdan elde edilen gerilme dağılımı birbiriyle benzerlik göstermemektedir. Şekil 6.33’den de görüldüğü üzere maksimum gerilmeler yüzeyin altından meydana gelmektedir. Ayrıca maksimum gerilme kaplamasız karbür takımda meydana gelirken, en düşük gerilme TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımda meydana gelmektedir.



Şekil 6.33 150 m/dak kesme hızında 0,2 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde kesici takımda meydana gelen efektif gerilme dağılımları.

a) Kaplamasız, b) TiCN+Al₂O₃+TiN, c) Al₂O₃

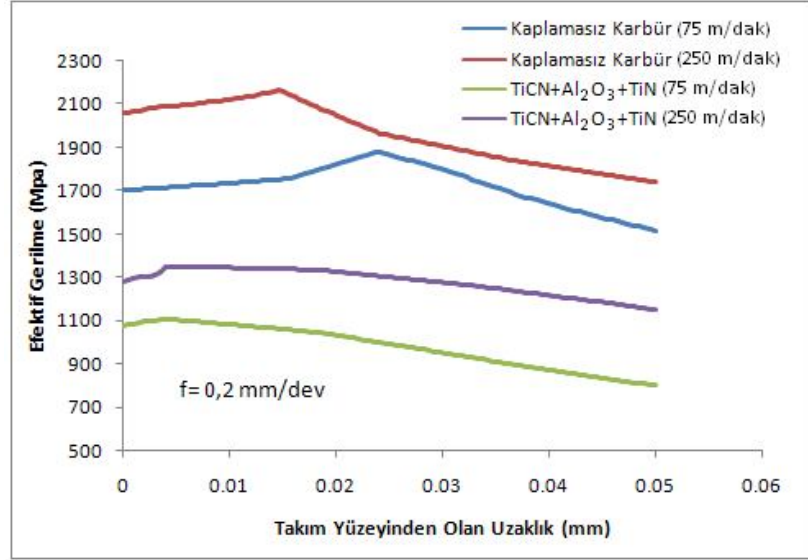
Çalışma kapsamında kullanılan kesici takımlar için elde edilen gerilme değerlerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 6.34, 6.35 ve 6.36’da verilmektedir. Her üç grafikten de görüldüğü üzere maksimum gerilme değerleri kesici takım yüzeyinde oluşmamıştır. Kaplamasız karbür kesici takım ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımda maksimum gerilme 0,005 ve 0,01 mm arasındaki derinlikte oluşurken, Al₂O₃ kaplı kesici takımda takım yüzeyinden 0,02 ile 0,03 mm derinlik değerleri arasında oluşmaktadır. 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 6.34 Takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kaplama türüne bağlı olarak değişimi.

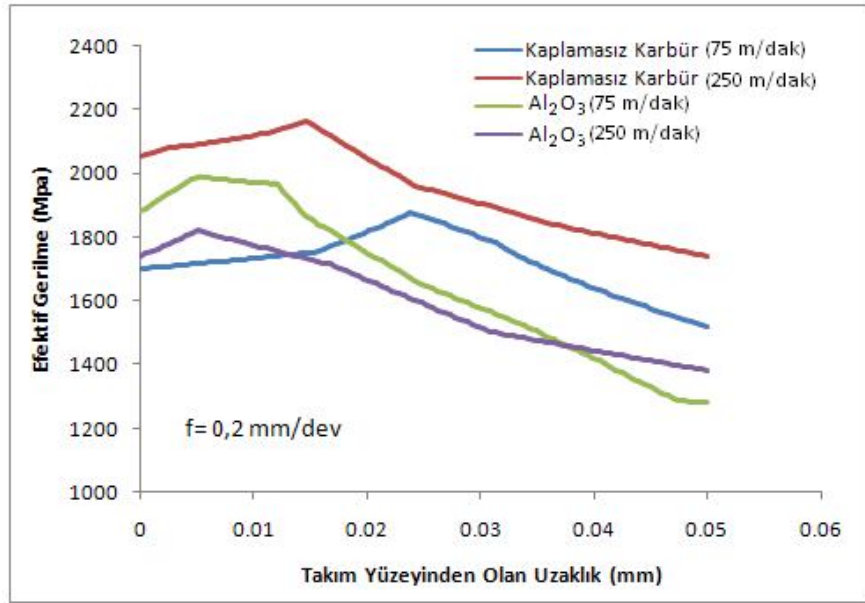
Şekil 6.34’de dikkati çeken diğer bir nokta ise kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyinde meydana gelen gerilmeler arasında ciddi bir farkın olmasıdır. Maksimum gerilmeler 0,05 mm derinliğinde kaplamasız kesici takımda meydana gelmektedir. Her üç kesici takım için de kaplama kalınlığı boyunca gerilme 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 6.35 Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.

Kesme hızının takım gerilmeleri üzerindeki etkisini ortaya koymak açısından yapılan çalışmada da kaplamasız, TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃ kaplı kesici takım için iki farklı kesme hızı referans alınmıştır (Şekil 6.35, Şekil 6.36). Şekilde dikkati çeken ilk nokta, kesme hızının artmasıyla birlikte hem kaplamasız hem de TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımdaki efektif gerilmelerin artmasıdır. Buna karşın Al₂O₃ kaplı kesici takımda da kesme hızının artması ile gerilme değerleri azalmıştır. Bununda nedeni kesme hızının artmasıyla birlikte, kesici takıma etkiyen kesme kuvvetleri azalmaktadır. Kesme kuvvetlerinin azalmasıyla birlikte, kesici takımda meydana gelen gerilme değeri de azalmaktadır.



Şekil 6.36 Kaplamalı ve kaplamasız kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin derinliğe ve kesme hızına bağlı olarak değişimi.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 316L paslanmaz çeliğinin kaplamasız, TiCN+Al₂O₃+TiN ve Al₂O₃ kaplı karbür kesici takımlar ile işlenebilirliği deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Öncelikle, deneysel olarak kesme kuvvetleri belirlenmiş, daha sonra literatürde yaygın olarak kullanılan Johnson-Cook akma gerilme modelini içeren nümerik analizler gerçekleştirilerek kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları ve takım üzerinde oluşan gerilmeler tespit edilmiştir. Son olarak, elde edilen deneysel ve nümerik veriler karşılaştırılmış ve bu sonuçlar arasındaki yakınsama oranları tespit edilmiştir.

Hem deneysel hem de nümerik çalışma açısından, kesme hızındaki %100' lük bir artışla birlikte bütün kesici takımlar için, asıl kesme kuvvetleri yaklaşık %15 oranında azalmakta ve kesme hızındaki artışla doğru orantılı bir biçimde kesme kuvvetlerinin de azaldığı görülmektedir. Deneysel olarak yapılan çalışmada maksimum kesme kuvveti değeri, 75 m/dak kesme hızında ve kaplamasız kesici takımla yapılan kesme işleminde 1653 N olarak elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 200 m/dak kesme hızında ve Al₂O₃ kaplı kesici takımında 327 N olarak elde edilmiştir. Nümerik analizler sonucunda ise, maksimum kesme kuvveti değeri 75 m/dak kesme hızında ve kaplamasız karbür kesici takımla yapılan kesme işleminde 1600 N olarak elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük kesme kuvveti değeri ise, 250 m/dak kesme hızında ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımında 280 N olarak elde edilmiştir.

Kesme kuvveti açısından deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında bütün kesme hızları ve kaplama türleri ile yapılan kesme işlemlerinde, deneysel ve nümerik sonuçlar arasında çok iyi bir uyumun olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, en düşük yakınsama kaplamasız karbür kesici takımla, 75 m/dak kesme hızında yapılan kesme işleminde % 65 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama, TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımla 100 m/dak kesme hızında % 99,9 ve Al₂O₃ kaplı kesici takımla 75 m/dak kesme hızında % 99,8 olmuştur. Bütün kesme hızları için kaplamalı kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerinin, kaplamasız kesici takım için elde edilen sonuçlardan düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel olarak en büyük ilerleme kuvveti değeri 75 m/dak kesme hızında, 1080-1380 N arasında değişen bir seyir izlemiştir. Buna karşılık en düşük ilerleme kuvveti değeri ise, 250 m/dak kesme hızında, 600-800 N arasında bir değer aldığı görülmektedir. Bu bağlamda kesme hızının 75 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkmasıyla birlikte kuvvetler yaklaşık olarak % 40 oranında azalmaktadır.

İlerleme kuvveti açısından deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki en kötü yakınsama 75 m/dak kesme hızında kaplamasız karbür kesici takım için elde edilen sonuçlarda % 57 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık en iyi yakınsama ise 150 m/dak kesme hızında Al_2O_3 kaplı kesici takımda elde edilen sonuçlarda % 99,2 seviyesindedir. Buna göre deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki makul seviyede bir uyum olduğu görülmektedir. En düşük ilerleme kuvvetleri Al_2O_3 kaplı kesici takımla yapılan kesme işleminde gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık en büyük ilerleme kuvveti ise, kaplamasız karbür kesici takımla yapılan kesme işleminde görülmektedir.

Kesme işleminde, ilerleme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetleri de artmaktadır. İlerleme hızındaki artışın kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi Al_2O_3 kaplı kesici takımda daha net bir şekilde görülmektedir. İlerleme hızındaki % 100'lük bir artışla birlikte kesme kuvvetleri yaklaşık olarak her üç kesici takım için de % 65-75 aralığında artmıştır. 100 m/dak kesme hızında yapılan değerlendirmede, en küçük kesme kuvveti değeri Al_2O_3 kaplı kesici takımla 0,05 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde 350 N olarak görülmüştür. Buna karşılık, en büyük kesme kuvveti değeri ise, kaplamasız karbür kesici takımla 0,3 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme işleminde 1560 N olarak tespit edilmiştir.

Kesici takım üzerinde kesme sıcaklığının etkisinin nümerik olarak araştırılması sonucunda, kesme ve ilerleme hızındaki artışa paralel olarak kesme sıcaklığının artması dikkat çekmektedir. Bu kapsamda en düşük kesme sıcaklığı 75 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme hızında $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takım ile elde edilirken, en yüksek kesme sıcaklığı ise, 250 m/dak kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme hızında Al_2O_3 kaplı kesici takım ile elde edilmiştir. Bu durum kesme ve ilerleme hızının artmasına bağlı olarak kesme sıcaklığının da arttığını göstermektedir. Kesme esnasında ısının

kesici takıma geçişi takıma uygulanan kaplama türü ile yakından ilgilidir. Nümerik analizlerde kesici takım yüzeyinden alt katmana doğru elde edilen sıcaklık değerlerinde, artan derinlikle birlikte kaplamasız takımda lineer bir azalma gösterirken, kaplamalı takımlarda kaplama kalınlığı boyunca sıcaklığın ani bir düşüş gösterdiği bu noktadan sonra kaplamasız takımdaki gibi lineer hale dönüştüğü görülmüştür. Bunun nedeni ise, kaplama malzemelerinin düşük termal iletkenliklerinden dolayı ısıyı alt katmana daha az geçirmesidir.

Kesme esnasında kesici takım üzerinde oluşan gerilmeler takımda meydana gelebilecek hasarların oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Kesici takımda oluşan gerilmelerin artması ile takım ömrü olumsuz yönde etkilenmektedir. Bundan dolayı, yapılan bu çalışmada kesme hızına ve kaplama türüne bağlı olarak, kesici takım yüzeyindeki gerilmelerin değişimi nümerik olarak araştırılmıştır. Nümerik analizler sonucunda, artan kesme hızına paralel olarak kesme kuvvetleri azalmış ve bunun sonucu olarak takım yüzeyindeki gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama kalınlığı boyunca gerilme değerlerinin arttığı ve kaplamanın bittiği yüzeyden alt katmanın çekirdeğine doğru gerilmelerin önemli derecede azaldığı görülmüştür. Kaplama kalınlığı boyunca gerilmelerin artmasının literatürle uyumlu olduğu görülmüş, bu da kaplama malzemelerinin farklı genleşme katsayılarına sahip olmasına atfedilmiştir.

Deneyle esnasında elde edilen talaşın Merchant'ın ideal talaş modeli ile uyum sağladığı görülmektedir. Talaş morfolojisi incelendiğinde, talaş oluşumunda kesici takımlara uygulanan kaplama işleminin çok büyük etkisi olduğu görülmektedir.

Literatürde AISI 316L östenitik paslanmaz çelik için yapılan çalışmalarda deneysel ve nümerik veriler arasındaki en yüksek yakınsama değeri Umbrello ve arkadaşları (2007) tarafından % 98,3 olarak elde edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında ise kesme verileri için elde edilen en yüksek yakınsama değeri olarak % 99,9 bulunmuştur. Dolayısıyla AISI 316L paslanmaz çelik için literatürde yapılan çalışmalar içerisinde en iyi yakınsama değeri bu çalışmada elde edilmiştir.

7.1 Öneriler

Deneysel ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucunda, kesme kuvvetlerinin en yüksek % 99,9 oranında uyumluluk gösterdiği ve nümerik analizlerde kullanılan malzeme modelinin geçerli bir model olduğu öngörülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göz önünde tutularak, nümerik çalışmada geçerli bir sonuç elde edebilmek için 100 ila 200 m/dak arasındaki kesme hızı değerlerinin tercih edilmesi ile deneysel çalışmalardaki sonuçlar ile uyumun artacağı tespit edilmiştir.

Kaplamalı kesici takımlarda kesme kuvvetlerinin düşük çıkmasının nedeni, kaplama malzemelerinin tungsten karbürden daha düşük sürtünme katsayısı, kızıl sertlik ve termal iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan kaplamalı kesici takımlar arasında değerlendirme yapıldığında, optimum kesme kuvvetleri elde edebilmek için Al_2O_3 kaplı kesici takım tercih edilebilir. Bunun nedeni ise Al_2O_3 'in kaplama malzemeleri arasında en yüksek kızıl sertliğe ve kimyasal karalılığa ve en düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenliğe sahip olmasıdır.

Kesme işlemi esnasında ortaya çıkan kesme sıcaklığı kesici takım ömrünü olumsuz yönde etkileyen faktörlerden biridir. Kesme esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık değerleri takımın daha hızlı aşınmasına ve belirli bir noktadan sonra ömrünü tamamlamasına neden olmaktadır. Ancak kesme esnasında takım talaş ara yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşmasına rağmen sıcaklığın kaplamalı kesici takımlar ile yüksek aşınma direnci sağlanmaktadır. Bunun nedeni ise kaplama malzemelerinin yüksek kızıl sertlik özelliklerinden dolayı yüksek kesme sıcaklıklarında sertliklerini korumasıdır. Dolayısı ile kesme işleminde takım ömrünün daha uzun olması ve aşınmanın az olması için kaplamalı kesici takımlar tercih edilmelidir.

Kesici takım ömrünü etkileyen bir diğer unsur ise ilerleme kuvvetidir. Takım ömrünün fazla olması için ilerleme kuvvetlerinin yüksek kesme hızlarında düşüş göstermesi beklenir. Her üç kesici içinde ilerleme kuvvetleri değerlendirildiğinde Al_2O_3 kaplı kesici takım ile yapılan kesme işleminde en düşük ilerleme kuvveti elde edildiğinden takım ömrü ve işleme zamanı bakımından kullanılması öngörülmektedir. Ayrıca ilerleme

hızının artması ile ilerleme kuvveti de paralel olarak artacağından, bu çalışmada kullanılan kesici takımlar için, ideal bir kesme işleminde düşük ilerleme değerlerinde yüksek kesme hızları tercih edilmelidir.

İdeal bir kesme işleminde takım üzerinde oluşan gerilmelerin minimum değerde olması istenmektedir. Bu gerilmelerin minimum değerde olabilmesi için düşük ilerleme hızları ve düşük kesme hızları tercih edilmelidir. Kaplamasız kesici takımlar ile yapılan deneylerde kaplamalı kesici takımlara göre daha yüksek efektif gerilme değerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla kesme işleminde kaplamalı kesici takımların tercih edilmesi gerektiği öngörülmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Anurag, S., Guo, Y.B., Horstemeyer, M.F., 2009, “The effect of materials testing modes on finite element simulation of hard machining via the use of internal state variable plasticity model coupled with experimental study”, *Computers and Structures*, Vol. 87, pp 303–317.
- Apaydın, D., 2009, “AISI 4340 Malzemenin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aran, A., Temel, M.A., 2004, “Sarıtış Teknik Yayın No: 1”, Acar Matbaacılık, 2. Baskı, İstanbul, Türkiye.
- Arrazola, P.J., Özel T., 2008, “Numerical modelling of 3D hard turning using arbitrary Lagrangian Eulerian finite element method”, *Int. J. Machining and Machinability of Materials*, Vol. 3, pp 238-249.
- Asad, M., Girardin, F., Mabrouki, T., Rigal, J.F., 2008, “Dry cutting study of an aluminium alloy (A2024-T351): a numerical and experimental approach”, LaMCoS, INSA-Lyon, CNRS UMR5259, F69621, France.
- Aslantaş, K., 2000, “Tabakalanma Aşınmasının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aslantaş, K., 2009, “Metal Kesme Teorisi Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Bölüm 7, Sayfa 11.
- Astakhov, V.P., Shvets, S., 2004, “The assessment of plastic deformation in metal cutting”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.146, pp 193-202.
- Aydın, M., 2009, “Metalik Sacların Hidro Şekillendirme Yöntemi ile Şekillenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Balcı, B., 2008, “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- Bonnet, C., Valiorgue, F., Rech, J., Hamdi, H., 2008, "Improvement of the numerical modeling in orthogonal dry cutting of an AISI 316L stainless steel by the introduction of a new friction model", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 1, pp 114-118.
- Bonnet, C., Valiorgue, F., Rech, J., Claudin, C., Hamdi, H., Bergheau, J.M., Gilles, P., 2008, "Identification of a friction model—Application to the context of dry cutting of an AISI 316L austenitic stainless steel with a TiN coated carbide tool", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.48, pp 1211– 1223.
- Boy, M., 2004, "Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Talaş Arka Yüzey Sıcaklığının Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Childs, T., Maekawa, K., Obikawa, T., Yamane, Y., 2000, "Metal Machining Theory and Applications", First Published in Great Britain in 2000 by Arnold, a Member of the Hodder Headline Group, 338 Euston Road, London.
- Çakır, C., 2006, "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", Nobel Yayın Dağıtım, 2.Baskı, Ankara.
- Çiftçi, İ., 2006, "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", *Tribology International*, Vol. 39, pp 565–569.
- Esner, C., 2006, "AA 5754 malzemesinde derin çekme işleminde baskı plakasının etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Filice, L., Micari, F., Rizzuti, S., Umbrello, D., 2007, "A critical analysis on the friction modelling in orthogonal machining", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.47, pp 709–714.
- Fredj, N.B., Sidhom, H., 2006, "Effects of the cryogenic cooling on fatigue strength of the AISI 304 stainless steel ground components", *Cryogenics*, Vol.46, pp 439-448.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Achyutha, B.T., 2008, "Siddeswarappa, B., Taguchi optimization in drilling of AISI 316L stainless steel to minimize burr size using multi-performance objective based on membership function", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.202, pp 374-379.

- Gökkaya, H., Nalbant, M., Özçatalbaş, Y., 2006, “Takım-talaş ara yüzey sıcaklığının takım-iş parçası ısı çift yöntemiyle ölçümü için geliştirilen sistemin uygulanabilirliği”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 21, No 3, 409-413.
- Gökkaya, H., Nalbant, M., 2007, “Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin sem ile incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 22, No 3, 481-488.
- Johnson, G.R., Cook, W.H., 1984, “Fracture characteristic of three metals subjected to various strains, strain rate, temperature and pressure, Engineering Fracture Mech. Vol. 21, pp 31-48.
- Grzesik, W., 2008, “Advanced Machining Process of Metallic Materials: Theory, Modeling and Applications” Elsevier Science.
- Jaspers, S.P.F.C., 1999, “Metal Cutting Mechanics and Material Behaviour”, Eindhoven Tecnical University, Proefschrift, ISBN 90-386-0950-7.
- Kalhorı,V., 2001, “Modelling and Simulation of Mechanical Cutting”, PhD Thesis, Luleå University of Technolgy.
- Köse, E., Kurt, A., Şeker, U., 2008, “The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of Inconel 718”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.196, pp 165-173.
- Kronenberg, M., 1966, “Machining Science and Application. Theory and Practice for Operation and Development of Machining Processes”, Pergamon Press, Oxford.
- Kurt, A., 2006, “Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kurt, A., Şeker, U., 2005, “Kesici takım gerilmelerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 20, No 4, 491-497.
- Lazoğlu, I., Altıntaş, Y., 2002, “Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 42, pp 1011–1022.

- Lee, T.H., 2007, “An Experimental and Theoretical Investigation Fort He Machining of Hardened Alloy Steels” Thesis Degree of Doctor of Philosophy, School of Mechanical Manufacturing Engineering the University of New Southh Wales Sydney, Australia.
- Lee E.H., Shaffer, B.W., 1951, The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining, ASME, J. Appl. Mech. 18, pp 405–413.
- Leopold, J., Neugebauer, R., Löffler, M., Schwenck, M., Hänle, P., 2006, “Influence of coating-substrate systems on chip and burr formation in precision manufacturing”, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 220, pp 499-506.
- Martinho, R.P., Silva, F.J.G., Baptista, A.P.M., 2007, “Wear behaviour of uncoated and diamond coated Si₃N₄ tools under severe turning conditions”, Wear, Vol.263 pp 1417–1422.
- Merchant, M.E., 1945, “Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip”, Journal of Applied Physics, Vol.16, pp 267–275.
- Mills, B., Redford, A.H., 1983, “Machinability Of Engineering Materials”, University Of Salford, pp 107-108.
- 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.
- Nalbant, M., Gökkaya, H., Toktaş, İ., Sur, G., 2009, “The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 25, pp 211–223.
- Nasr, M.N.A., Ng, E.-G., Elbestawi, M.A., 2007, “Modelling the effects of tool-edge radius on residual stresses when orthogonal cutting AISI 316L”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.47, pp 401–411.
- Norihica, G., Simith, G.T., 1989, “Advanced Machining-The Handbook of Cutting Tools”, IFS Publication Ltd.
- Outeiro, J.C., Dias, A. M., Lebrun, J.L., Astakhov, V.P., 2002, “Machining residual stresses in aisi 316l steel and their correlation with the cutting parameters”, Machining Science and Technology, Vol.6:2, pp 251-270.

- Oxley, P.L.B., 1951, “A strain hardening solution for the shear angle in orthogonal metal cutting”, *International Journal of Mechanical Science*.
- Oxley, P.L.B., 1989, “Mechanics of Machining, An Analytical Approach to Assessing Machinability”, Halsted Press, New York.
- 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., Zeren, E., 2004, “Determination of work material flow stress and friction for FEA of machining using orthogonal cutting tests”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.153–154, pp 1019–1025.
- Patricia, M.E., Shreyes, M., Kai, L., 2005, “Influence of the stress, strain, and temperature on the surface roughness of an AISI 52100 steel due to an orthogonal cut”, *JMEPEG*, Vol.14, pp 582-590.
- Pereira J.M, Lerch B.A, 2001, “Effects of heat treatment on the ballistic impact properties of Inconel 718 for jet engine fan containment applications”, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 25, pp 715–733.
- 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, pp 5132-5139.
- Rech, J., Kusiak, A.J., Battaglia, L., 2004,” Tribological and thermal functions of cutting tool coatings”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 186, Issue 3, pp 364-371.
- Rhim, S.H., Oh, S.I., 2006, “Prediction of serrated chip formation in metal cutting process with new flow stress model for AISI 1045 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 171, pp 417–422.
- Sandvik Coromand, 1994, “Modern Metal Cutting-A Practical Handbook”, ISBN, 93-99.
- Sayman, O., Şen, F., Çelik Ç., Arman, Y., 2009, “Thermal stress analysis of Wc–Co/Cr–Ni multilayer coatings on 316L steel substrate during cooling process”, *Materials and Design*, Vol. 30, pp 770–774.
- Shaw, M.C., 1996, “Metal Cutting Principles”, MIT Press, USA.
- Smith, G.T., 1989, “The Handbook of Cutting Technology”, Verlag London Limited.

- Smith, A.J.R., Armarego, E.J.A., 1981, "Temperature Prediction in Orthogonal Cutting with a Finite Difference Approach", *Annals of CIRP*, pp 9-16.
- Şahin, Y., 2000, "Talaş Kaldırma Prensipleri-1", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Türkiye.
- Şahin, Y., Motorcu, A.R., 2008, "Surface roughness model in machining hardened steel with cubic boron nitride cutting tool", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 26, pp 84–90.
- Şeker, U., 1997, "Takım Tasarımı Ders Notları", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 5–11, 33–44, 47–72.
- Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., 2004, "Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Materials & Design*, Vol. 25, pp 507-513.
- Topçu, M. ve Taşgetiren, S., 1998, "Mühendisler İçin Sonlu Eleman Metodu", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları Yayın No: 007, sayfa 225–230 Denizli, Türkiye.
- Trent, E.M., 1984, "Metal Cutting", 2nd ed., Butterwoths, London ISBN 0-408-10856.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., 2007, "Talaş açısının kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin modellenmesi", *UMES 2007*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 20-22 Haziran.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Ucun, İ., 2008, "Farklı kenar geometrisine sahip seramik kesici takımlar kullanılarak AISI 1045 çeliğinin işlenebilirliğinin modellenmesi", 13. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, İstanbul, 03- 05 Eylül, Türkiye.
- Ucun, İ., Apaydın, D., Aslantaş, K., Taşgetiren S., 2007, "İlerleme miktarının kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin modellenmesi", *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Konya Şubesi IV. Makine Tasarımı ve İmalatı Teknolojileri Kongresi*, Konya, 24-25 Kasım, Türkiye.
- Uday, A. D., Dilip, D., Suhas, S. J., 2009, "Modeling of chip-tool interface friction to predict cutting forces in machining of Al/SiCp composites", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 49, pp 690–700.
- Umbrello, D., M'Saoubi, R., Outier, J.C., 2007, "The influence of Johnson-Cook material constants on finite element simulation of machining of AISI 316L steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.47, pp 462–470.

- Xavior, M.A., Adithan, M., 2009, "Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209, pp 900-909.
- Wince, J.N., 2002, "Modeling Chip Formation In Orthogonal Metal Cutting Using Finite Element Analysis", Thesis Degree of Master, Science in Mechanical Engineering in The Department of Engineering, Mississippi State University, Mississippi.
- Valiorgue, F., Rech, J., Hamdi, H., Bonnet, C., 2008, Gilles, P., Bergheau, J.M., "Modelling of friction phenomena in material removal processes", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.201, pp 450–453.
- 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.
- Yeyen, H., E., 2006, "AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneyisel Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Young, H.T., Chou, T.L., 1994, "Modelling of tool-chip interface temperature distribution in metal cutting", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 36, pp 931–943.
- 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.

8.1 Internet Kaynakları

	Erişim Tarihi
1- http://ise.rutgers.edu/MARL/research01.htm	10.10.2009
2- http://www.shinozuka.me.ynu.ac.jp/jshinozu/Unsteady/unsteadycut.html	10.10.2009
3- http://www.thirdwavesys.com/products/advantedge_fem.htm	10.10.2009
4- http://www.mycarbide.cn/TypeT.html	10.12.2009
5- http://www.coromand.sandvik.com/tr	10.12.2009

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Fuat KARA
Doğum Yeri	DÜZCE
Doğum Tarihi	15/07/1982
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Düzce Endüstri Meslek Lisesi (1996-2000)
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim dalı (2001-2005)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Arş. Gör.	10.2008-
Çayırova Boru A.Ş., Gebze, Eğitim Şef Yard.	08.2008-10.2008
Teknokon Makine İm.Mon.A.Ş., İstanbul, Teknik Ressam	02.2008-08.2008
Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜBİTAK Proje Asistanı	08.2006-08.2007
ISI-MAK İnş. San ve Tic. Ltd. Şti., Düzce, Proje Sorumlusu	01.2006-08.2006

Yayımları (SCI ve diğer)

1. Çiçek A., Kara F., Uygur İ., Saruhan H., “3 Boyutlu Katı Modellerin CNC Takım Tezgahlarında İşlenmesi İçin Bir Veri Tabanı Tasarımı” 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük Üniversitesi, Karabük.
2. Kılıç A., Kara F., Çiçek A., “Bilgisayar Destekli İmalat Dersinde CNC

Uygulamasının Öğrenci Başarısına Etkisi”, 3. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu, 7-9 Ekim 2009, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

3. Kara F., Köklü U., “Kütahya’daki Endüstriyel Okulların Atölyelerinin Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi” YAEM 2006: 26. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi, 3-5 Temmuz 2006, Kocaeli Üniversitesi, İzmit.