

CNC Tezgahlarda Parçaya Şekil Verilmesi Sırasında Isıl Etkilerin
Teorik Ve Deneysel Analizi

Engin Çına

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Isı Enerji Anabilim Dalı

Haziran 2009

Theoretical And Experimental Analysis Of Thermal Effects
While Machining A Workpiece At CNC Machines

Engin Çına

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering Heat - Energy

June - 2009

CNC Tezgahlarda Parçaya Şekil Verilmesi Sırasında Isıl Etkilerin
Teorik Ve Deneysel Analizi

Engin ına

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü YönetmeliĐi Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Isı - EnerĐi Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: L. Berrin Erbay

Haziran 2009

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Engin Çına'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "CNC Tezgahlarda Parçaya Şekil Verilmesi Sırasında Isıl Etkilerin Teorik Ve Deneysel Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. L. Berrin Erbay

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. L. Berrin Erbay

Üye : Prof. Dr. Kemal Taner

Üye : Doç. Dr. Haydar Aras

Üye : Yrd. Doç. Dr. Necati Mahir

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut Tekkalmaz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada; bir CNC tezgahta, işleme yapılırken ortaya çıkan termal değişiminin teorik ve deneysel araştırmaları yapılp, ölçüm metotları, deney düzenekleri incelenmiş, özellikle imalat sektörü için geliştirilmiş olan DEFORM Machining analiz programı yardımı ile farklı kesme hızı ve ilerlemelerde, takım ve iş parçası üzerindeki sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Referans alınan bir deney ile elde edilen bu analiz sonuçları karşılaştırılmış, kesme parametrelerinin sıcaklık üzerine etkisi incelenmiş ve bu değerlerle uygun çalışan bir bağıntı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : İşleme, sıcaklık, CNC

SUMMARY

In this study, it has been investigated theoretical and experimental studies of emerging thermal changing, while machining at CNC machines, then, investigated measurement methods, experiment setups, temperature distributions have been estimated in different cutting speeds and feeds by using DEFORM Machining 3D which is an analysis program, developed especially for manufacturing industry. Acquired results of this analysis have been compared with a reference experiment and effects of cutting parameters on temperature have been investigated and a relation has been developed which works in agreement with these values.

Keywords: Machining, temperature, CNC.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Prof. Dr. L. Berrin ERBAY'a (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı), gerek yüksek lisans dersleri ve gerekse yüksek lisans tez literatür araştırmalarında çevirilerde bana yardımcı olan ve bu süreç boyunca manevi desteğini hiç eksik etmeyen eşim, Halkla İlişkiler Uzmanı Nazan ÇINA'ya, yüksek lisans tez çalışmasının kurgulanması, analiz aşamalarının yorumlanmasında destek olan ağabeyim, Makine Mühendisi Evren ÇINA'ya (Çına Oto Makas), yüksek lisans tez çalışmasında gerekli olan analiz programı tespitinde imkanlarını esirgemeyen arkadaşım, Makine Mühendisi Selman ÖZTÜRK'e (Mercedes Benz Türk A.Ş.) ve yapılan tez çalışması sonucunda geliştirilen bağıntı konusunda yardımlarda bulunan arkadaşım, Araştırma Görevlisi Özer GÖK'e (Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1.Giriş.....	2
2.2. Dik Kesme Kuvvet Modeli.....	2
2.2.1. Kesme Prosesi, Kesme Kuvvetleri.....	5
2.3. Sıcaklık Dağılım Modelleri.....	7
2.4. Sıcaklık Ölçme Metodları.....	8
2.5. İşleme Esnasında Sıcaklık Dağılımı ve Isı Üretiminin Modellenmesi.....	8
2.5.1.Birinci ve ikinci deformasyon bölgelerinde ısı üretimi.....	8
2.5.2. Steady-State talaş-takım sıcaklık alanları için modelleme ve hesaplamalı algoritma.....	10
2.5.3. Talaş Sıcaklık Modeli.....	13
2.5.4. Takım sıcaklık modeli.....	16
2.5.5. Frezeleme işleminde süreksiz (transient) sıcaklık değişiminin modellenmesi.....	20
2.5.6. CNC tezgahlarda parça işleme esnasında ortaya çıkan termal etkileri incelemek için deney düzeneklerinin incelenmesi.....	25
2.5.7. Referans deneyin sonuçları.....	31

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

3. DEFORM ANALİZ PROGRAMI YARDIMI İLE REFERANS DENEYİN SİMÜLASYONU.....	37
3.1. Deform Analiz Programı.....	37
3.2. Deform programı ile problemin tanımlanması.....	37
3.3. Deform Programı İle Tanımlanan Problemin Çözdürülmesi.....	48
3.4. Deform Programı İle Analiz Sonuçlarının Görüntülenmesi.....	49
3.5. Referans Deney Verilerine Göre Yapılan Analizler.....	54
3.6. Referans Deney Sonuçları ile Deform'da Yapılan Analizlerinin Karşılaştırması.....	71
4. SONUÇ.....	74
5. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.2.1.a	Dik kesme (solda) ve eğik kesme (sağda) işlemlerinin geometrik gösterimi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....5
Şekil.2.1.b.	Kesme işleminde ortaya çıkan kuvvetlerin bir başka gösterimi : I- Aksenal kuvvet, II- Teğetsel kuvvet, III- Radyal kuvvet.....6
Şekil.2.2.	Dik kesme işleminde deformasyon bölgeleri (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....6
Şekil.2.3.	Kartezyen ve polar koordinatlarda tanımlanmış diferansiyel kontrol bölgelerdeki ısı yayılımı (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2001).....11
Şekil.2.4.	Talaşın ve takımın bölünüşünün (mesh'lenmesi) gösterimi.....12
Şekil.2.5.	2-D Kontrol Hacmindeki Düğüm Ağı ve Sonlu Fark Yaklaşımının Gösterimi.....14
Şekil.2.6.	Son frezeleme işleme için takım talaş farklılaşımının gösterimi ve işleme ile değişken talaş için sıcaklık tahmini prosedürü.....24
Şekil.2.7.	Sıcaklık tahminlerinde kullanılan kızılötesi kamera sistemi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....26
Şekil.2.8.	CNC dik işleme merkezi içerisindeki kızılötesi kamera sistemi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....27
Şekil.2.9.	Kızılötesi sistemin takıma yakın bölgeden görünüşü (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....28
Şekil.2.10.	Dikdörtgensel hacim içinde gösterilen kızıl ötesi deneylerde yakalanan (1mmx1.2mm) boyutundaki alan (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....29
Şekil.2.11.	Soldaki görüntü : Al 7075 malzemesinin dikey işlenmesi süresince çekilen IR görüntüsü. Sağdaki görüntü : Sıcaklık skalası üzerine oturtulmuş IR görüntüsünün renkli final versiyonu (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006).....29
Şekil.2.12.	Termokupul ile sıcaklık ölçüm deney düzeneği (Umbrello et. al (2007)'den).....30
Şekil.2.13.	6 ⁰ kesme açılı takım ile Al 7075 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007).....32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.2.14.	18 ⁰ kesme açılı takım ile Al 7075 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007).....33
Şekil.2.15	6 ⁰ kesme açılı takım ile AISI 1050 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007).....33
Şekil.2.16	18 ⁰ kesme açılı takım ile AISI 1050 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007).....34
Şekil.2.17	Al 7075 malzemesinin 18 ⁰ eğim açılı Tungsten Karbid takım ile, 160 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme ile dikey işleminde elde edilen IR görüntüsü.....35
Şekil.2.18	Simüle edilen ve ölçülen, takım ucundan kesme yüzeyi sıcaklık dağılımı.....35
Şekil.2.19	AISI 1050 malzemesinin 6 ⁰ eğim açılı Tungsten Karbid takım ile, 80 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme ile dikey işleminde elde edilen IR görüntüsü.....36
Şekil.2.20	Simüle edilen ve ölçülen, takım ucundan eğimli yüzey sıcaklık dağılımı.....36
Şekil.3.1.	Problem isminin girilmesi ve birim sistemin seçilmesi.....38
Şekil.3.2.	İşleme tipinin seçilmesi.....39
Şekil.3.3.	Kesme parametrelerinin girilmesi.....40
Şekil.3.4.	Proses koşullarının girilmesi.....41
Şekil.3.5.	Takım kütüphanesinden kesici uç seçimi.....42
Şekil.3.6.	Takım tutucu seçimi, kesme açısına değer verilmesi.....43
Şekil.3.7.	Kesici ucun mesh'lenmesi.....44
Şekil.3.8.	İş parçası tipinin ve ilk sıcaklığının belirlenmesi.....44
Şekil.3.9.	İş parçası geometrisinin oluşturulması.....45
Şekil.3.10.	İş parçasının meshlenmesi.....46
Şekil.3.11.	İş parçası için malzeme seçimi.....46
Şekil.3.12.	Simülasyon kontrollerinin yapılması.....47
Şekil.3.13.	Problemin veritabanının kontrolü ve tamamlanması.....48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.3.14.	Problemin hesaplanması.....49
Şekil.3.15.	Sıcaklık renk skalasının gösterimi.....50
Şekil.3.16.	İş parçası üzerindeki anlık sıcaklık değişim grafiğinin elde edilmesi.....51
Şekil.3.17.	Sıcaklık datalarının aktarımı.....52
Şekil.3.18.	Herhangi bir noktadaki talaş ilerlemesi.....52
Şekil.3.19.	İş parçası üzerindeki sıcaklık grafiği.....53
Şekil.3.20.	Kesici uç üzerindeki sıcaklık grafiği.....53
Şekil.3.21.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 297 ⁰ C.....54
Şekil.3.22.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....55
Şekil.3.23.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 328 ⁰ C.....55
Şekil.3.24.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....56
Şekil.3.25.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 342 ⁰ C.....56
Şekil.3.26.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....57
Şekil.3.27.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 356 ⁰ C.....57
Şekil.3.28.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....58
Şekil.3.29.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 315 ⁰ C.....58
Şekil.3.30.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.3.31.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 345 ⁰ C.....59
Şekil.3.32.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....60
Şekil.3.33.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 360 ⁰ C.....60
Şekil.3.34.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....61
Şekil.3.35.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 373 ⁰ C.....61
Şekil.3.36.	6 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....62
Şekil.3.37.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 293 ⁰ C.....62
Şekil.3.38.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....63
Şekil.3.39.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 316 ⁰ C.....63
Şekil.3.40.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....64
Şekil.3.41.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 332 ⁰ C.....64
Şekil.3.42.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....65
Şekil.3.43.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 343 ⁰ C.....65
Şekil.3.44.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.3.45.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 314 ⁰ C.....66
Şekil.3.46.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....67
Şekil.3.47.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 334 ⁰ C.....67
Şekil.3.48.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....68
Şekil.3.49.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 351 ⁰ C.....68
Şekil.3.50.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....69
Şekil.3.51.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 357 ⁰ C.....69
Şekil.3.52.	18 ⁰ derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği.....70
Şekil.3.53.	6 ⁰ kesme açısı için, Al7075 malzemesinin işlenmesi sırasında ölçülen ve hesaplanan maksimum sıcaklık grafiği.....72
Şekil.3.54.	18 ⁰ kesme açısı için, Al7075 malzemesinin işlenmesi sırasında ölçülen ve hesaplanan maksimum sıcaklık grafiği.....72
Şekil.4.1.	Bağımlı değişken “Sıcaklık” ın beklenen ve gözlenen kümülatif olasılıklarının regresyonu.....75
Şekil.4.2.	Bağımlı değişken “Sıcaklık”ın kesme açısına göre parçalı regresyonu.....76
Şekil.4.3.	Bağımlı değişken “Sıcaklık” ın kesme hızına göre parçalı regresyonu.....76
Şekil.4.4.	Bağımlı değişken “Sıcaklık” ın ilerleme hızına göre parçalı regresyonu.....77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge.2.1. Termal Simülasyonlar ve Deneysel Doğrulamalar İçin Kesme Koşulları.....	31
Çizelge.3.1. Kesme Parametreleri.....	54
Çizelge.3.2. Referans çalışmada yapılan deney ve sonlu elemanlar analiz ile DEFORM’da yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırması.....	71
Çizelge.4.1. Bağımlı değişken “Sıcaklık” için geliştirilen bağıntı sabit ve katsayıları.....	77
Çizelge.4.2. Çeşitli kesme parametrelerinde Al7075 malzemesi için Deform’da hesaplanan maksimum sıcaklıklar ile bağıntı ile hesaplanan sıcaklıkların karşılaştırılması.....	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- b : Kesilmemiş talaş kalınlığı
 c_c : Talaş özgül ısı kapasitesi
 c_p : Ortalama spesifik ısı kapasite
 $dx.dy$: Sonsuz küçük element bölgesinin alanı
 F_t : Teğetsel yönde etki eden kesme kuvveti
 F_s : Kayma düzlemindeki kayma kuvveti
 F_f : Takım kesme yüzeyiyle talaş temas bölgesi arasındaki sürtünme kuvveti
 f : İlerleme Hızı [mm/dev]
 h : Talaş genişliği
 K_t : Teğetsel kesme kuvveti katsayısı
 K_{te} : Teğetsel yönde kenar katsayısı
 K_{fe} : İlerleme yönünde kenar katsayısı
 K_{tc} : Teğetsel yönde kesme katsayısı
 K_{fc} : İlerleme yönünde kesme katsayısı
 K_f : Kenar katsayısı
 k : Malzemenin termal iletkenliği
 k_c : Termal iletkenlik
 k_t : Takımın termal iletkenliği
 l_{cn} : Takım-talaş temas uzunluğu
 l : Kayma düzlem uzunluğu
 l_n : Takım-talaş temas uzunluğu
 N_x : x eksenini boyunca grid numarası
 r : İlgili düğüm noktası ile Şekil.2.4'te O noktası olarak gösterilen takım ucu arasındaki radyal mesafe.
 T : Element içindeki sıcaklık
 T_t : Takım sıcaklık alanı
 $(T_{ss})_2$: Sürekli işleme modelinden değer biçilen steady-state sıcaklık.
 T_{maks} : Maksimum Sıcaklık [$^{\circ}C$]
 $(T_{ss})_1$: Steady-state sıcaklık

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

- t : İşleme süresi
 V_w : Kesme hızı
 V_s : Kayma düzlemi boyunca kesme hızı
 V_c : Kesme yüzeyi boyunca kesme hızı
 $[A]$: Denklem 2.12'den elde edilen katsayı kare matris
 $\{C\}$: Isı üretim dizini
 $[D]$: Denklem 2.17'den elde edilen katsayı kare matris
 $\{E\}$: Takım için ısı üretim dizini
 $\{T_t\}$: Takım sıcaklık dizini
 $\{T_c\}$: $(N_y + 1)(N_x + 1)$ 'in boyutu ile birlikte talaş sıcaklık dizini
 \dot{Q} : Her bir ünite alanı için enerji üretim oranı
 \dot{Q}_c : Diferansiyel Talaş Bölgesindeki her ünite alanı için enerji üretim oranı
 \dot{Q}_f : Sürtünme kaynaklı ısı üretim oranı
 \dot{Q}_t : Kontrol bölgesindeki her bir ünite alanı için ısı üretim oranı
 (\dot{Q}_x, \dot{Q}_y) : Isı iletim giriş oranı
 $(\dot{Q}_{x+dx}, \dot{Q}_{y+dy})$: Isı iletim çıkış oranı
 x_F : Talaş kalınlığı (üstsüsel olarak)
 α_n : Normal kesme açısı
 β_n : Normal sürtünme açısı
 θ : Kesme Açısı [$^\circ$ derece]
 ρ : Kütleli yoğunluk
 τ : Kayma düzlemindeki kayma gerilimi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

$\zeta = \frac{k_c}{\rho c_c}$: Talaş/iş parçasının termal yayınıcı

τ_1 : Tornalama kaleminin $\Delta\theta$ açısal dönmesinden sonra, ilk farklı talaş kesme kalınlığına karşılık gelen zaman sabiti.

ϕ_n : Kayma açısı

ψ : Düğüm noktasının açısal pozisyonu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir takım tezgahında, üretim yapılırken, iş parçasının; malzeme, üzerinde uygulanan ısı işlemler gibi teknik özelliklerine göre en uygun takımı belirlemek için gerekli kriterler; geometri, malzeme (ve kaplama), aşınmaya karşı mukavemeti gibi özelliklerdir. Herhangi uygunsuz bir takım seçimi, zaman kayıplarına, üretim giderlerinin artmasına yol açabileceği gibi, iş parçasında bozukluklara, hassas olmayan yüzey pürüzlülüklerine, takımda aşırı ısınmadan dolayı aşınmalara, kırılmalara yol açabilir.

İş parçasına şekil verilmesi esnasında, sürtünmeden dolayı bir ısı meydana gelir. Kesme esnasındaki sıcaklık, takımın aşınma mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Bu da takım ömrünün azalmasına sebep olur. Ayrıca bazı üretim işlemlerinde, takım aşınması ve iş parçası hassasiyeti sebebiyle, sıcaklığın belli bir noktadan daha yukarıda olmaması istenir. Bu da kesme hızı, ilerleme hızı gibi kesme parametreleri seçimine bir limit getirir. Buradan anlaşılacağı üzere; sıcaklık, üretim esnasında göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerden biridir. Kaldı ki, yüksek hızlı işlemlerin (HSM, high speed machining) gerektirdiği üretimlerde, bu limit, kendini daha çok belli eder.

Bu çalışmada; daha önceden dik işleme prosesi esnasında farklı kesme hızı ve ilerlemelerde, takım, talaş ve iş parçası üzerindeki sıcaklık dağılımları üzerine yapılmış deneyler ile DEFORM analiz programı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1.Giriş

Günümüzde, imalat sektöründe, rekabet ortamında ayakta kalabilmek için, üretimi en kısa sürede ve en hassas şekilde yapmak gerekmektedir. İşleme süresinin kısalığı ve hassasiyet, kesme parametrelerine ve bu parametreleri etkileyen sıcaklığa bağlıdır. Bu noktadan hareketle literatür incelemesi, kesme parametrelerine bağlı olarak sıcaklık değişimi üzerine yapılan çalışmalar üzerine olmuştur. Bu çalışmalarda, çeşitli kesme kuvveti modelleri ile sıcaklık tahmin modelleri üzerinde durulmuştur. Fakat sıcaklık dağılımları ile ilgili çalışmaların çok fazla olmadığı görülmüştür. İncelenen çalışmalardaki, sıcaklık tahmin modelleri, kesme modelleri ve sıcaklık ölçüm metodları, deney düzenekleri, karşılaştırılmış, avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

2.2. Dik Kesme Kuvvet Modeli

Güç tüketimi, vibrasyon ve takım ömrü gibi parametreleri direkt olarak etkileyen kesme kuvveti, bu parametreleri belirlemek adına incelenmesi ve saptanması gereken çok önemli bir faktördür. İlgili takım tezgahına uygun motor gücünün belirlenmesi ve gerekli olan kesme kuvvetini sağlayabilmesi gerekir. Ne kadar güce gereksinim duyulduğunun bilinmesi; gereksiz masrafların bertaraf edilmesini sağlar. Aynı zamanda gereğinden fazla uygulanan kesme kuvvetlerinde, takım ve/veya iş parçası çok ince olduğunda iş parçası malzemesinin titreşim sönümlenme kapasitesi yetersiz kalırsa vibrasyonlar kaçınılmazdır. Ayrıca, Majumdar, et al.(2005)'ın da belirttiği gibi, metal kesmede harcanan bu gücün çoğu, takım kesme yüzeyinde ısıya dönüşmektedir ve bu oluşan ısı da doğrudan ve dolaylı olarak birçok ekonomik ve teknik problemlere sebep olmaktadır. Takım ömrü de, ortaya çıkan kesme kuvvetine bağlı olarak direkt olarak etkilenmektedir. Kesici takımın aşınması, kırılması, iş parçasının hassasiyeti,

deformasyonu gibi sonuçlar doğuran böylesine birbirine bağlı etkileşimlerin çok dikkatli bir şekilde incelenmesini gerektirir.

Kurt ve Şeker (2005)'in de belirttiği gibi kesici takım ve iş parçasında oluşan gerilmeler ve sıcaklık değişimlerinin, kesme açısı, boşluk açısı, kama açısı gibi geometrik parametreler ile kesme hızı, ilerleme hızı, paso miktarı gibi kesme parametreleri ile, kesici takım- iş parçası malzeme çifti için nasıl değiştiği talaşlı imalat adına oldukça önem taşır. Bu amaçla da çeşitli deneysel, sonlu elemanlar metodu ve analitik yöntemler geliştirilmiştir.

Bu konuda yapılan çalışmalardan biri de Lazoğlu ve Serpengüzel (2006)' in üzerinde durduğu kuvvet modelleridir. Bu modeller arasındaki farklar, kenar katsayılarının kullanımı ya da kuvvetler ve kesilmemiş talaş kalınlığı arasındaki ilişkidir.

Koenigsberger – Sabberwal Modeli :

$$F_t = K_t(b.h) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de F_t , teğetsel yönde etkiyen kesme kuvvetini, K_t , teğetsel kesme kuvveti katsayısını, b talaş genişliğini ve h , kesilmemiş talaş kalınlığını ifade etmektedir. Kesilmemiş talaş kalınlığı tornalama işlemi için devir başına ilerlemeye eşittir. Bu yaklaşımda, kesme kuvvetleri ve kaldırılan talaş miktarını ilişkilendiren kesme kuvveti katsayısı K_t önceden belirlenmiş kesici geometrisi ve takım-parça kombinasyonu için yapılmış deneysel dik kesme testlerinden saptanır.

Altıntaş Modeli :

Bu modelde, kenar katsayıları kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} F_f &= [K_{tc}h + K_{te}b] \\ F_f &= [K_{fc}h + K_{fe}b] \end{aligned} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de, K_{te} ve K_{fe} sırasıyla, teğetsel ve ilerleme yönündeki kenar katsayılarıdır. K_{tc} ve K_{fc} de teğetsel ve ilerleme yönündeki kesme katsayılarıdır. Bununla beraber h , kesilmemiş talaş kalınlığı ve b de, talaş genişliğini ifade etmektedir. Kenar kuvvetlerinin kayma (shearing) işlemine herhangi bir katkısı yoktur. Kesme ve kenar katsayıları doğrudan, belli bir takım-parça çifti için yapılmış metal kesme deneylerinden hesaplanırlar. Ayrıca, bu modelde kenar katsayıları kesme takımı yıprandıkça değişir.

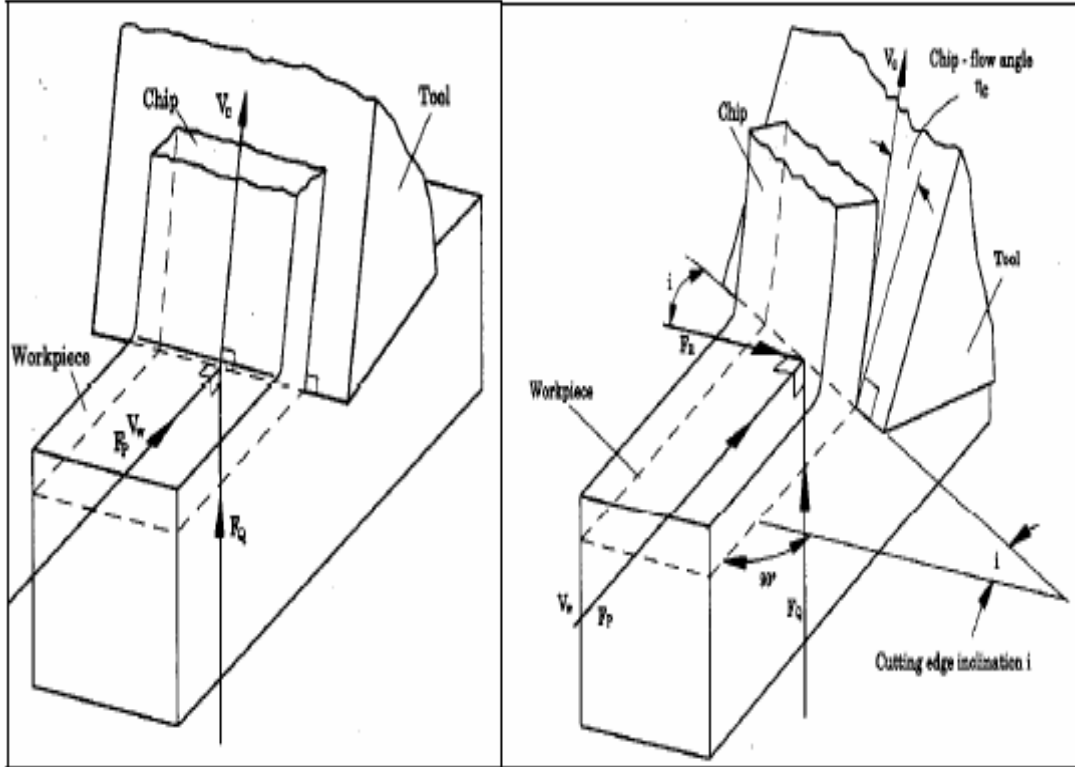
Stepan – Insperger Modeli :

Bu doğrusal modellere alternatif olarak, kesilmemiş talaş kalınlığı ile kesme kuvvetini üstsel (exponential) bir şekilde ilişkilendiren, ve Stepan ve Insperger tarafından kullanılmış bir kuvvet tahmin modeli ele alınabilir:

$$F_t = K_t (b.h^{x_F}) \quad (2.3)$$

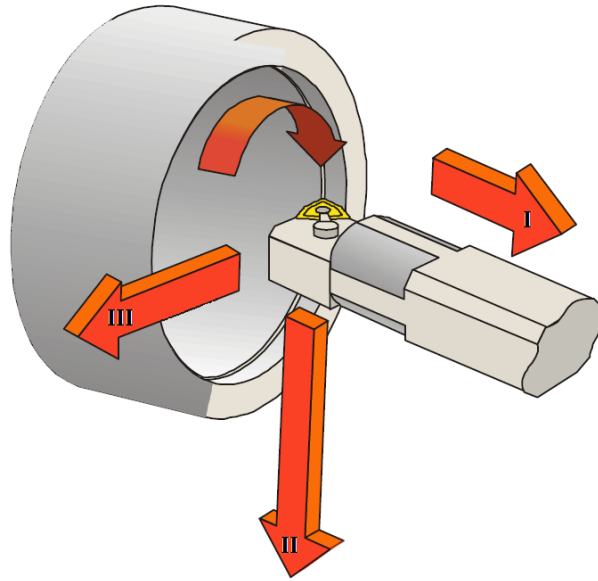
Bu modelde x_F , talaş kalınlığının üstüdür ve genellikle 0.75 olarak kullanılır. Bu doğrusal olmayan modelden ilerleme oranına bağlı kararlılık eğrilerinin (stability lobes) oluşturulmasında faydalanılır.

2.2.1. Kesme Prosesi, Kesme Kuvvetleri



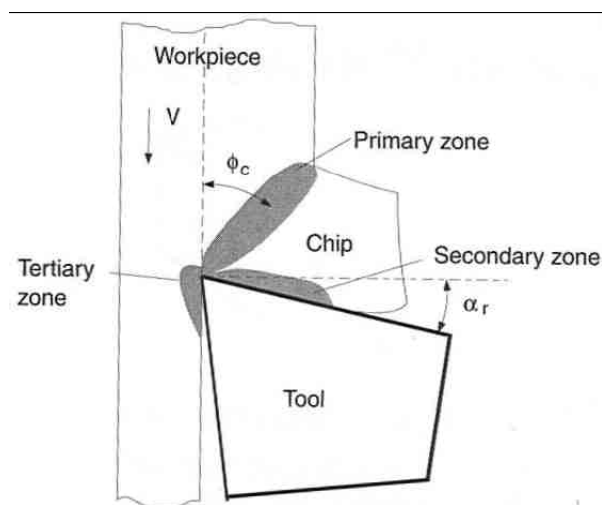
Şekil.2.1.a Dik kesme (solda) ve eğik kesme (sağda) işlemlerinin geometrik gösterimi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

Dik kesme, yatma açısının sıfır olduğu kesme işlemidir. Burada kesme kuvvetleri, kesme hızı ve kesilmemiş talaş kalınlığı yönünde olmaktadır. Radyal bir kuvvet yoktur. (Şekil 2.1.a) Fakat eğik kesme prosesinde, kesme yüzeyine göre bir açı yatma mevcuttur. Bundan dolayı aksel kuvvet ve teğetsel kuvvete ilave olarak bir radyal kuvvet söz konusudur. Kesme kuvvetleri temel olarak; güç tüketimi, vibrasyonlar ve de takım ömürlerini etkilerler ve iş parçası malzemesi, takım geometrisi ve kesme parametrelerinden etkilenirler. Kesme kuvveti, yukarıda da değinildiği gibi, aksel kuvvet bileşeni, teğetsel kuvvet bileşeni ve de radyal kuvvet bileşeninden oluşur. Bu bileşenlerden teğetsel kuvvet, güç tüketiminin, teğetsel ve radyal kuvvet bileşkesi, vibrasyonların ve de dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünün, deformasyonların birer belirleyicisidir. (Seco, 2008)



Şekil.2.1.b. Kesme işleminde ortaya çıkan kuvvetlerin bir başka gösterimi : I- Eksenel kuvvet, II- Teğetsel kuvvet, III- Radyal kuvvet

Temel olarak dik kesme işleminde, üç farklı deformasyon bölgesi vardır. Birinci deformasyon bölgesinde, malzeme talaş oluşturmak üzere kesilmekte ve plastik iş yapılmaktadır. İkinci deformasyon bölgesinde, birinci bölgede kesilen kısım takım-talaş kesişim çizgisi boyunca deforme olmakta ve sürtünme ortaya çıkmaktadır. Üçüncü bölgede, takım yan yüzeyi ile yeni işlenmiş yüzeyi arasında sürtünme meydana gelmektedir. (Şekil 2.2)



Şekil.2.2. Dik kesme işleminde deformasyon bölgeleri (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

2.3. Sıcaklık Dağılım Modelleri

Talaşlı imalat teknolojisinde, parça işlenirken ortaya çıkan sıcaklık dağılımlarının ölçümü oldukça zordur ve bir çok parametre tarafından etkilenmektedir. Buna neden olarak, prosesin gerçekleştiği alanın oldukça küçük olması, doğrusal bir gerilmenin olmayışı yani malzemenin iç yapısı gereği homojenliğinde oluşabilecek farklılıklar, takım aşınmaları gibi etkenlerden gerilmelerin de değişmesi gibi etkenler sayılabilir. Ortaya çıkan bu yüksek gerilme ve basınçlar da değişen yüksek sıcaklıkların oluşmasına sebep olur. Dinc, et al. (2007)'in belirttiği gibi, bu konuda bir sıcaklık tahmin modeli oluşturmak da oldukça zordur, bu sıcaklıkların doğru ve tekrarlanabilir olacak şekilde ölçümü, kesme kenarlarının çok yakın olmasından dolayı zordur ve deneysel verilerin matematiksel modelleri doğrulamamasından dolayı, yayınlanan çoğu makale, sadece bazı yayınlanmış deneysel verilere dayanmaktadır.

Parça işlenmesi esnasında, kesici takım – iş parçası arasında sürtünmeden dolayı bir ısı ortaya çıkar. Oluşan bu ısının bir kısmı, talaş ile beraber ortamdan uzaklaştırılırken bir kısmı da hem takıma hem de iş parçasına aktarılır. Bu da iş parçası ile beraber kesici takımın sıcaklık artışına sebep olur. Bilindiği üzere kesici takımlar, özel şartlarda imal edilip su verme yöntemiyle sertleştirilir. Buradaki handikap, sıcaklığın artışı ile kesici takım sertliğinin azalmasıdır. Sertliğinin azalması aşınma mukavemetini azaltıp takımın körelmesine sebebiyet verir. Bu da bir başka ifadeyle takım ömrünün azalması demektir. Ayrıca bu konuda, Dinc, et al. (2007)'nin ifade ettiği gibi bir takım ömrü, takım kesme yüzeyi veya kesici takımın serbest yüzeyindeki maksimum sıcaklık ile belirlenir. Belirtilen sıcaklığın etki ettiği diğer problemlerden biri de titanyum gibi düşük iletkenliğe sahip materyallerin işlenmesi esnasında, ısı üretim akışının, iş parçasının düşük iletkenliğinden dolayı, takım içinde meydana gelmesidir. Bu da takım içerisinde termal gerilmelerin oluşmasına sebebiyet verir. Termal gerilmelerin sonucunda da takımda yorulmalar, çatlama meydana gelir. Bu problemde aşınmalar daha sık görülür. Başka bir problem türü de, sertliğin yüksek olduğu iş parçalarının işlenmesinde meydana gelmektedir. Burada da yüksek sertlik değeri nedeniyle aşırı gerilmeler ve sıcaklıklar ortaya çıkar. Burada da aynı şekilde

aşınma problemi ortaya çıkar. Takım aşınması nedeniyle takım ömrünün yanında, işlenen parçada yüzey pürüzlülüğünde de sıkıntılar ortaya çıkabilmektedir.

2.4. Sıcaklık Ölçme Metodları

Talaşlı imalat sürecinde sıcaklık ölçümü oldukça zordur. Bu nedenle bu sıcaklık ölçümleri için bir çok farklı metot denenmiştir. Bunların en yaygın olanı termokupul uygulamasıdır. Termokupul mantığı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı üzerine dayalıdır. Bu sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV mertebelerinde gerilim üretilir. Termokupulun sıcak ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık farkı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ve soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Bu alanda kullanılan iki farklı termokupul mevcuttur: Gömülü termokupullar ve dinamik termokupullar. Dinc, et al. (2007)'in bu proseste sıcaklık ölçümü için kullanılan metotlar üzerine yapmış olduğu araştırmalarda; 1200 °C ye yakın sıcaklık ölçen çeşitli termokupul çalışmalarına, termokupullara göre oldukça hızlı cevap veren ve de hassas çalışan, yayılan termal enerjiye bağlı olarak gövdenin yüzey sıcaklığını ölçen IR radyasyon tekniği çalışmalarına ve diğer alternatif sıcaklık ölçüm metot çalışmalarına (metalografik metotlar, talaş rengi yaklaşımı ile sıcaklık hesaplanması) değinmiştir.

2.5. İşleme Esnasında Sıcaklık Dağılımı ve Isı Üretiminin Modellenmesi

Talaşlı imalat sırasında, parça işlenirken ortaya çıkan sıcaklık dağılımı ve ısı üretimi üzerine Lazoğlu ve Altıntaş (2001)'in yaptığı araştırmalara ve geliştirdikleri modellere yer verilmiştir :

2.5.1. Birinci ve ikinci deformasyon bölgelerinde ısı üretimi

Prosesin, dikey işleme geometrisinde ve talaşın çok ince bir kayma düzleminden (birinci deformasyon bölgesi) hareket ettiği varsayılmıştır. Talaş parçaları, kesme yüzeyinin üstünden sabit bir ortalama sürtünme

katsayısı ile kayar. Birinci ve ikinci bölgelerdeki, her bir kesme derinliği ünitesi için ısı üretimi sırasıyla verilmiştir :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_s &= F_s V_s = \frac{\tau h V_w \cos(\alpha_n)}{\sin(\phi_n) \cos(\phi_n - \alpha_n)} \dot{Q}_f = F_f V_c \\ \dot{Q}_s &= \frac{\tau h V_w \sin(\beta_n)}{\cos(\phi_n + \beta_n - \alpha_n) \sin(\phi_n - \alpha_n)}\end{aligned}\quad (2.4)$$

F_s : Kayma düzlemindeki kayma kuvveti

F_f : Takım kesme yüzeyiyle talaş temas bölgesi arasındaki sürtünme kuvveti

V_w : Kesme hızı

V_s : Kayma düzlemi boyunca kesme hızı

V_c : Kesme yüzeyi boyunca kesme hızı

τ : Kayma düzlemindeki kayma gerilimi

ϕ_n : Kayma açısı

α_n : Normal kesme açısı

β_n : Normal sürtünme açısı

h : Anlık kesilmemiş talaş kalınlığı (h = tornalama için her devir için ilerleme, $h = c \cdot \sin(\theta)$, frezeleme için, c , uç başına ilerleme, θ , kesme noktasının açısal pozisyonu)

Kaymadan dolayı, her bir kesme derinliği ünitesindeki talaşın ortalama sıcaklık artışı, Oxley Parçalı Enerji Denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir :

$$\Delta \bar{T} = \frac{\dot{Q}_s (1-x)}{\rho c h V_w} \quad (2.5)$$

ρ : Kütsel yoğunluk

c_c : Talaş özgül ısı kapasitesi

x : İş parçasına giren ısı akısı oranı

$$x = 0.5 - 0.35 \log_{10}(R_t \tan(\phi_n)) \quad 0.004 \leq R_t \tan(\phi_n) \leq 10 \text{ ise.}$$

$$x = 0.3 - 0.15 \log_{10}(R_t \tan(\phi_n)) \quad R_t \tan(\phi_n) \geq 10 \text{ ise.}$$

(Termal numara) $R_t = \frac{hV_w}{\xi}$

(Termal yayılma gücü) $\xi = \frac{k_c}{\rho c_c}$

Kayma düzlemi üzerinde ortalama sıcaklık artışı, Şekil.2.3'deki D noktasındaki bir sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Birinci ve ikinci bölgelerdeki ısı üretimi de, takım ve talaş içinden sıcaklık dağılımı çözümündeki ısı kaynakları olarak kullanılmıştır.

2.5.2. Steady-State talaş-takım sıcaklık alanları için modelleme ve hesaplamalı algoritma

Termodinamiğin I. Kanunu'na dayanarak, iki boyutlu (2D) diferansiyel kontrol bölgesi içinde enerji dengesi, kartezyen koordinatlarda aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$\underbrace{\dot{Q}_x + \dot{Q}_y}_{\text{GirenIsı}} + \underbrace{\dot{Q}}_{\text{ÜretilenIsı}} dx dy - \underbrace{\dot{Q}_{x+dx} - \dot{Q}_{y+dy}}_{\text{ÇıkanIsı}} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy$$

DepolananIsı

(2.6)

$dx \cdot dy$: Sonsuz küçük element bölgesinin alanı

\dot{Q} : Her bir ünite alanı için enerji üretim oranı

$\left(\dot{Q}_x, \dot{Q}_y \right)$: Isı iletim giriş oranı

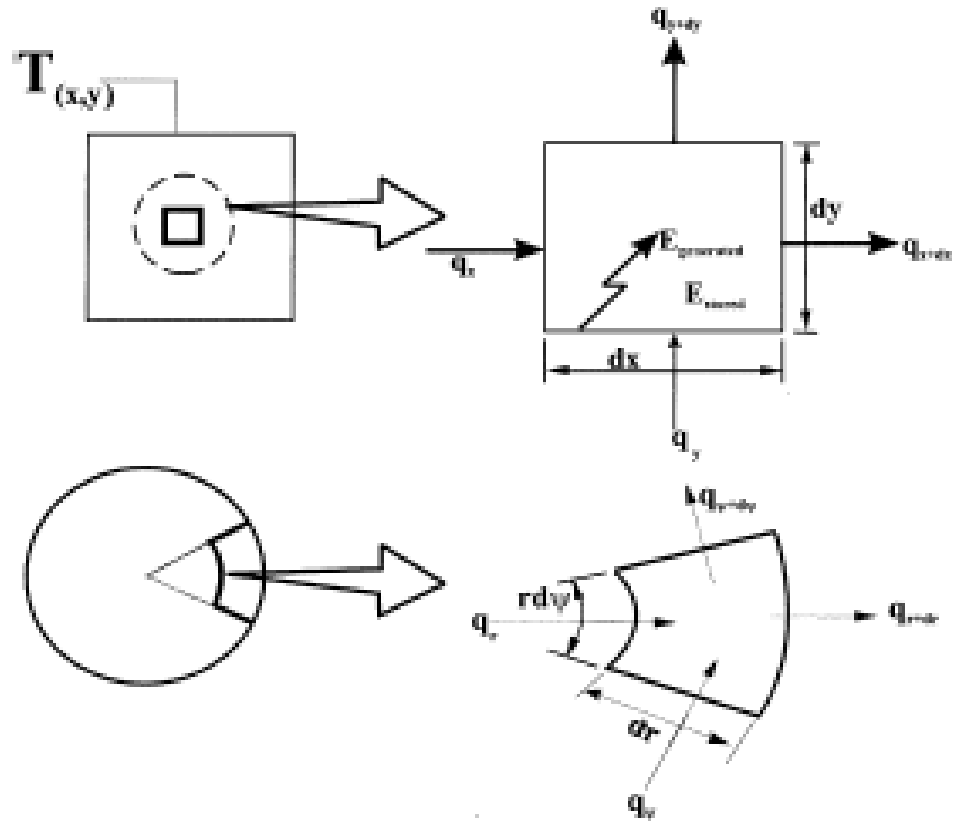
$\left(\dot{Q}_{x+dx}, \dot{Q}_{y+dy} \right)$: Isı iletim çıkış oranı

ρ : Kütleli yoğunluk

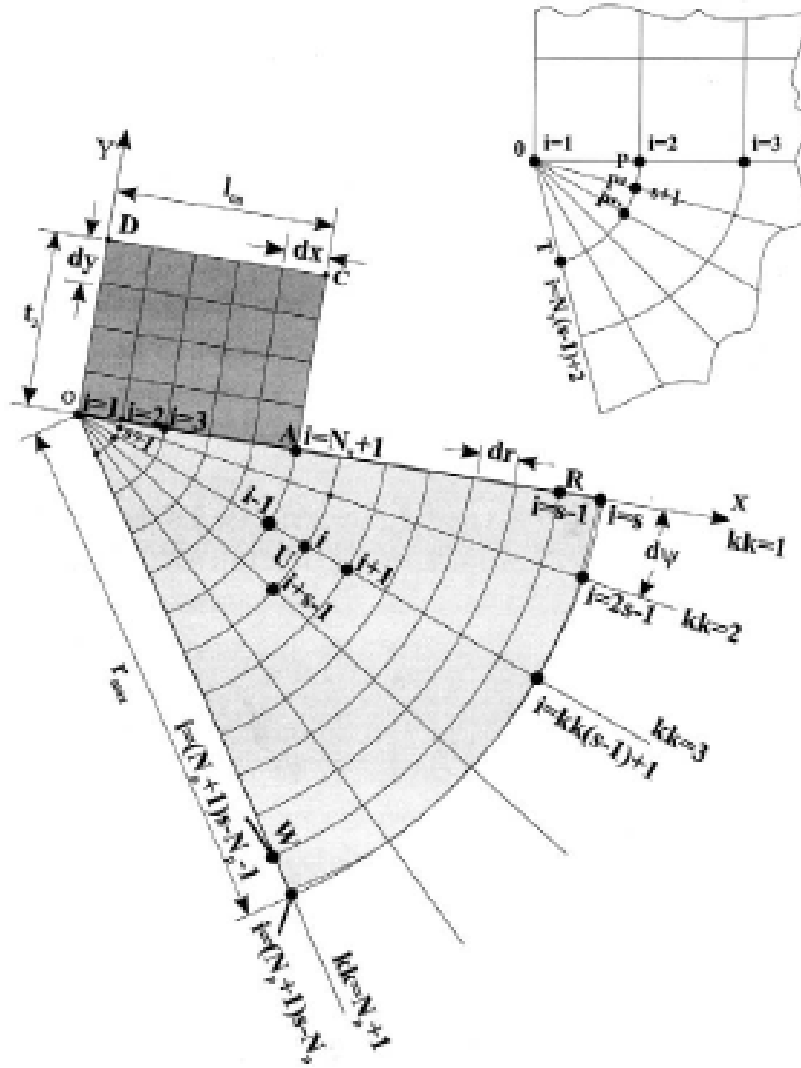
c_p : Ortalama spesifik ısı kapasite

t : Zaman

T : Element içindeki sıcaklık



Şekil.2.3. Kartezyen ve polar koordinatlarda tanımlanmış diferansiyel kontrol bölgelerdeki ısı yayılımı (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2001)



Şekil.2.4. Talaşın ve takımın bölünüşünün (mesh'lenmesi) gösterimi

(\dot{Q}_x, \dot{Q}_y) ısı iletim oranları, Fourier Isı İletim Kuralı'ndan ölçülebilir :

$$\dot{Q}_x = -k(dy)\frac{\partial T}{\partial x} \qquad \dot{Q}_y = -k(dx)\frac{\partial T}{\partial y} \qquad (2.7)$$

k : Malzemenin termal iletkenliği.

Taylor Serileri açılımı kullanımı ve sonraki terimlerin ihmal edilmesiyle, iki dikey yön içindeki ısı akış oranları, ilk yaklaşım düzeni olarak yazılabilir.

$$\dot{Q}_{x+dx} = \dot{Q}_x + \frac{\partial \dot{Q}_x}{\partial x} dx \quad \dot{Q}_{y+dy} = \dot{Q}_y + \frac{\partial \dot{Q}_y}{\partial y} dy \quad (2.8)$$

Termal iletkenliğin ortalama içinde değişmediği varsayılırsa, ısı denge, aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\dot{Q}}{k} = \frac{\partial T}{\zeta \partial t} \quad (2.9)$$

$\zeta = \frac{k}{\rho c_p}$: termal yayılım olarak tanımlanmıştır.

2.5.3. Talaş Sıcaklık Modeli

Buradaki talaş, sonsuz küçük bir zaman aralığı süresince yarı statik termal denkleme içinde ortalama bir büyüklük olarak kabul edilebilir. İki boyutlu ısı akışı ve bir boyutlu kütle transferi ile dikey kesme işlemi göz önüne alındığında (Şekil.2.4), farklı talaş bölgesi için ısı denge denklemi (Denkleme 2.9), parçalı diferansiyel denklem formunda, Kartezyen koordinatlarda, aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\left(\frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_c}{\partial y^2} \right) + \frac{\dot{Q}_c}{k_c} = \left(\frac{\rho c_c}{k_c} \right) \frac{\partial T_c}{\partial t} = \left(\frac{\rho c_c}{k_c} \right) V_c \frac{\partial T_c}{\partial x} \quad (2.10)$$

\dot{Q}_c : Diferansiyel Talaş Bölgesindeki her ünite alanı için enerji üretim oranı

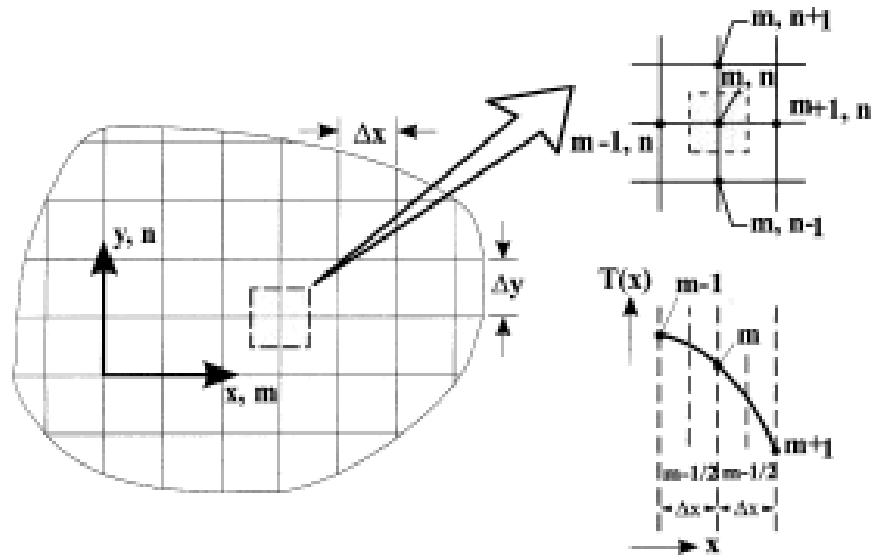
k_c : Termal iletkenlik

c_c : Talaşın spesifik ısı kapasitesi

$\frac{\partial T_c}{\partial t}$, nin, $V_c \frac{\partial T_c}{\partial x}$ ile yer değiştirebildiğine dikkat edilmelidir. Parçalı diferansiyel denklemi çözmek için, sonlu fark metodu kullanımıyla, aşağıdaki yaklaşımlar yapılabilir: (Şekil.2.5),

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right|_{x,y} \approx \frac{T_{(x+\delta x,y)} + T_{(x-\delta x,y)} - 2T_{(x,y)}}{\delta x^2}$$

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right|_{x,y} \approx \frac{T_{(x,y+\delta y)} + T_{(x,y-\delta y)} - 2T_{(x,y)}}{\delta y^2} \quad (2.11)$$



Şekil.2.5. 2-D kontrol hacmindeki düğüm ağı ve sonlu fark yaklaşımının gösterimi

Böylece, yukarıdaki yaklaşımların kullanılması ile parçalı diferansiyel denklemindeki ana denklem (Denklem.2.10), sonlu fark formunda, aşağıdaki şekilde verilir :

$$\left(\frac{T_{c(x+\delta x, y)} + T_{c(x-\delta x, y)} - 2T_{c(x, y)}}{\delta x^2} + \frac{T_{c(x, y+\delta y)} + T_{c(x, y-\delta y)} - 2T_{c(x, y)}}{\delta y^2} \right) + \frac{\dot{Q}_{c(x, y)}}{k_c} = \frac{\rho c_c}{k_c} V_c \frac{\partial T_{c(x, y)}}{\partial x} \quad (2.12)$$

Talaş geometrisi, takım sıcaklık alanının sonlu fark çözümü için küçük farklı elementlere bölünmesi (mesh'lenmesi) gereklidir ve yukarıdaki denklik denklemi, talaşın her bir düğüm noktası için yazılması gereklidir. (Şekil.2.4) Mesh'in görünüm oranı, çözümü kolaylaştırmak için birleştirilebilir : $\delta x = \delta y$

Denklik denkleminde (Denklem 2.12), sürtünme ile elde edilen ısı kaynağından diferansiyel talaş kontrol bölgesi içine ısı akışı $\left(\dot{Q}_c \right)$, takım-talaş temas uzunluğu boyunca her bir düğüm için sınırlandırılabilir :

$$1 \leq i \leq N_x + 1 \text{ ise } \left. \dot{Q}_{c(i)} = \frac{(1 - \Gamma_i) \dot{Q}_f dx}{l_{cn}} \right\} \quad (2.13)$$

Γ_i : Başlangıçta bilinmeyen, düğüm noktasındaki sürtünmeden elde edilen takım içine ısı akışı miktarı,

\dot{Q}_f : Sürtünme kaynaklı ısı üretim oranı

l_n : Takım-talaş temas uzunluğu

N_x : x eksenini boyunca grid numarası

(Talaş-takım temas uzunluğu boyunca, sabit (uniform) bir ısı üretimi olduğu kabulü unutulmamalıdır.) İçteki düğümler ($1 \leq i \leq N_x + 1$ dışındaki tüm düğümler), fiziksel olarak içeri bir ısı üretimine sahip değildir. Bu yüzden $\dot{Q}_{c(i)}$, tüm bu düğümler için sıfır olacaktır. Talaşın tüm düğümleri için

denklik denklemleri, Denklem 2.12'de gösterildiği gibi yazılabilir ve tüm bu denklemler, kısa bir matris form içinde yazılabilir :

$$[A]\{T_c\} = \{C\} \quad (2.14)$$

$[A]$: Denklem 2.12'den elde edilen katsayı kare matris

$\{T_c\}$: $(N_y + 1)(N_x + 1)$ 'in boyutu ile birlikte talaş sıcaklık dizini (N_y , Şekil.2.4'te gösterildiği gibi y eksenini boyunca mesh'lerin numarasıdır)

$\{C\}$: Isı üretim dizini

Talaş düğüm ağındaki her bir düğüm noktasının sıcaklığı, talaş sıcaklık dizinindeki bir değere karşılık gelir, $\{T_c\}$. $\{T_c\}$, aşağıdaki şekilde elde edilebilir :

$$\{T_c\} = [A]^{-1}\{C\} \quad (2.15)$$

Her bir düğüm noktası ($1 \leq i \leq (N_x + 1)(N_y + 1)$) için denklik denkleminin yazılımı, elementlerin katsayı matrisi $[A]$ ve ısı üretim dizini $\{C\}$ 'ye götürür.

2.5.4. Takım sıcaklık modeli

Talaş için kartezyen koordinatlar kullanılırken, takıma polar koordinatların uygulanması, matematiksel doğruluk ve modelin hesaplamalı uygulaması içinde kullanımı sebebiyle daha avantajlıdır. Talaş sıcaklık modeline benzer olarak, takım düğüm noktaları etrafındaki kontrol bölgesi için ısı transfer denge denklemleri, polar koordinatlarda aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$\left(\frac{\partial^2 T_t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_t}{\partial \psi^2} \right) + \frac{\dot{Q}_t}{k_t} = 0 \quad (2.16)$$

T_t : Takım sıcaklık alanı

r : İlgili düğüm noktası ile Şekil.2.4'te O noktası olarak gösterilen takım ucu arasındaki radyal mesafe.

ψ : Düğüm noktasının açısal pozisyonu

k_t : Takımın termal iletkenliği

\dot{Q}_t : Kontrol bölgesindeki her bir ünite alanı için ısı üretim oranı

Yukarıdaki parçalı diferansiyel denklemi, sonlu fark formunda yazmak için, aşağıda verilen yaklaşımlar yapılabilir :

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right|_{r,\psi} &\approx \frac{T_{(r+\delta r,\psi)} + T_{(r-\delta r,\psi)} - 2T_{(r,\psi)}}{\delta x^2} \\ \left. \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r,\psi} &\approx \frac{T_{(r+\delta r,\psi)} + T_{(r-\delta r,\psi)} - 2T_{(r,\psi)}}{2r\delta r} \\ \left. \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \psi^2} \right|_{r,\psi} &\approx \frac{T_{(r,\psi+\delta\psi)} + T_{(r,\psi-\delta\psi)} - 2T_{(r,\psi)}}{r^2\delta\psi^2} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Böylece, takım ısı denge denkleminin (Denklem.2.16) sonlu fark formu, aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\begin{aligned} &\left(\frac{T_{t(r+\delta r,\psi)} + T_{t(r-\delta r,\psi)} - 2T_{t(r,\psi)}}{\delta r^2} + \frac{T_{t(r+\delta r,\psi)} + T_{t(r-\delta r,\psi)}}{2\delta r} + \frac{T_{t(r,\psi+\delta\psi)} + T_{t(r,\psi-\delta\psi)} - 2T_{t(r,\psi)}}{r^2\delta\psi^2} \right) \\ &+ \frac{\dot{Q}_{t(r,\psi)}}{k_t} = 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Sürtünmeye bağlı takım içine ısı akış oranı, aşağıda verilmiştir :

$$1 \leq i \leq N_x + 1 \quad \text{ise} \quad \left. \dot{Q}_{t(i)} = \frac{\Gamma_i \dot{Q}_f dx}{l_{cn}} \right\} \quad (2.19)$$

Talaş ısıl denge denklemlerine benzer olarak, takımın tüm düğüm noktaları için denge denklemleri, yazılıp kısa bir formda birleştirilebilir :

$$[D]\{T_i\} = \{E\} \quad (2.20)$$

$[D]$: Denklem 2.17'den elde edilen katsayı kare matris

$\{T_i\}$: Takım sıcaklık dizini

$\{E\}$: Takım için ısı üretim dizini

Takımın sonlu fark denklik denklemi, takımın her bir düğüm noktası için yazılmalıdır. Böylece $[D]$, takım katsayı matrisi ve $\{E\}$, takım ısı üretim dizini elemanları, her bir takım düğümü için bulunabilir.

$$(1 \leq i \leq (N_p + 1) \left(\frac{r_{maks}}{\delta r} + 1 \right) - N_p \text{ için})$$

$$\text{Farklı açılardaki } N_p \text{ değerleri ; } N_p = \frac{(\pi/2 - \gamma_n - \alpha)}{d\psi}$$

Talaş ve takım ısıl denge denklemleri içinde, takım ve talaş sıcaklık dağılımlarının yanında, talaş-iş parçası temas uzunluğu boyunca düğüm noktalarındaki ısı parçaları (Γ_i), başlangıçta bilinmez. Bu yüzden hesaplama için bir iteratif prosese ihtiyaç vardır. Başlangıç değerleri, her bir düğümdeki ısı bölümleri için (Γ_i) 0 ile 1 arasında atfedilebilir. Takım ve talaş sıcaklık alanları, Talaş ve takım ısıl denge denklemleri içinde, takım ve

talaş sıcaklık dağılımlarının yanında, talaş-iş parçası temas uzunluğu boyunca düğüm noktalarındaki ısı parçaları (Γ_i), başlangıçta bilinmez. Bu yüzden hesaplama için bir iteratif prosese ihtiyaç vardır. Başlangıç değerleri, her bir düğümdeki ısı bölümleri için (Γ_i) 0 ile 1 arasında atfedilebilir. Takım ve talaş sıcaklık alanları, Γ_i 'nin başlangıçta verilen değerlerine bağlı olarak belirlenebilir. Takım ve talaş ısı denge denklemlerinin (Denklem 2.15. ve Denklem2.20) çözümünden sonra, temas halindeki takım ve talaş düğüm noktalarının karşılıklı sıcaklıkları birbirinden farklı ise, karşılıklı düğüm noktaları için ısı bölüm değerinin tadil edilmesi gerekir. Aşağıdaki formüller, bölümlerin modifikasyonu için kullanılabilir :

$$d\Gamma_{(1:N_x+1)} = Gain \frac{(T_{c(1:N_x+1)} - T_{t(1:N_x+1)})}{\frac{T_{c(1:N_x+1)} + T_{t(1:N_x+1)}}{2}} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki denklem, takımın ve talaşın temas halinde olduğu her düğüm noktasındaki talaş ve takım sıcaklıklarının arasındaki fark ile ortalama sıcaklığı karşılaştırır. Çözüm esnasında sayısal ıraksama meydana gelirse, Gain'in ilk değeri birleşim için ayarlanabilir. Bunun değeri, hesaplama zamanı süresinde yakınsamayı garantilemek için artırılmalıdır.

$d\Gamma_{(1:N_x+1)}$ 'nin maksimum değeri, önceden belirlenmiş yüzdeden daha büyük ise, karşılıklı düğümler için yeni ısı bölümü değerleri kabul edilebilir :

$$1 < i < N_x + 1 \quad \text{için} \quad \Gamma_i = \Gamma_i + d\Gamma_i \quad (2.22)$$

Bu yeni ısı bölümleri ile takım ve talaş için sonlu fark denklemleri, tekrar çözülür ve $d\Gamma_{(1:N_x+1)}$ değerleri tekrar belirlenir. Yeni bölüm, yakınsama için temas bölgesindeki takım ve talaşın sıcaklık alanlarına izin

vermelidir. Bu iteratif çözüm, $d\Gamma_{(1:N_x+1)}$ 'nin maksimum değeri, önceden belirlenmiş yeterli düşük seviyeye ulaşıncaya kadar devam eder. Böylece, iteratif çözümün sonunda, takımın ve talaşın sıcaklık alanları, $\{T_t\}, \{T_c\}$ den belirlenebilir.

2.5.5. Frezeleme işleminde süreksiz (transient) sıcaklık değişiminin modellenmesi

Önceki bölümlerde, steady-state (kararlı hal) takım ve talaş sıcaklıklarını belirlemek için metodoloji ve hesaplamalı algoritmalar açıklandı. Bunun yanında, transient sıcaklık değişimlerini bilmek de önemlidir. Özellikle yiv, oluk içinde işleme ve iş parçası temasının devamlı olmadığı ve işlenmemiş talaş kalınlığının, fener mili dönmesi ile değiştiği işlemler gibi yüksek hızlı kesintili işleme prosesleri için oldukça önemlidir. Üretilen kayma ve sürtünme kaynaklı ısıdan dolayı, işleme süreci süresince, oluk üzerindeki sıcaklık artar, kesme sıvısı veya havanın zorlanmış taşınımından dolayı işlemsiz süreç boyunca sıcaklık azalır.

Isı transferi sistemi, fiziksel olarak iyi bilinen bir birinci derece sistemdir. Bu yüzden, steady-state sıcaklıkları bilmenin yanında, sistemin zaman sabitinin bilinmesi, sistemin transient tepkisini öngörmek adına elverişli olacaktır. Sonlu fark algoritmaların kullanımı ile steady-state sıcaklıkların, verilen bir sistem girdileri için belirlenebileceği, önceki bölümde gösterilmiştir. Bu yüzden, transient sistem tepkisini belirlemek adına, problem, verilen bir sistemin zaman sabitini bulmak için indirgenir. Sıfır sıcaklıkta sınır koşulları ve bilinen bir başlangıç sıcaklık alanı ile bir dikdörtgensel paralel kenar için, transient sıcaklık çözümü verilebilir. Bu çözümden, ısı transfer probleminin transient tepkisinin $e^{-\zeta(\beta_m^2 + \gamma_n^2 + n_p^2)}$ ile yönlendirildiği görülebilir. Burada;

$$\sin(\beta_m i) = 0$$

$$\sin(\gamma_n j) = 0$$

$$\sin(\eta_p k) = 0$$

$$m = 1, 2, 3, \dots \text{ için } \beta_m = \frac{m\pi}{i}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \text{ için } \gamma_n = \frac{n\pi}{j}$$

$$p = 1, 2, 3, \dots \text{ için } \eta_p = \frac{p\pi}{k}$$

i, j, k : Paralel kenarın boyutlarıdır. Böylece, ilk özgül değer ω^2 , aşağıdaki gibi tahmin edilebilir.

$$\omega^2 \approx \zeta \left(\frac{\pi^2}{i^2} + \frac{\pi^2}{j^2} + \frac{\pi^2}{k^2} \right) \quad (2.23)$$

Dikey işleme göz önüne alındığında ve talaş formasyon bölgesi için ilk özgül değer kullanımıyla, ısı transfer probleminin transient tepkisinin

$e^{-\frac{1}{\tau}}$ ile yönlendiği görülebilir. Burada $\tau \left(= \frac{1}{\omega^2} \right)$, zaman sabiti ve τ ,

aşağıdaki denklemden tahmin edilebilir :

$$\tau \approx \frac{1}{\zeta \left(\frac{\pi^2}{l_{cn}^2} + \frac{\pi^2}{l^2} \right)} \quad (2.24)$$

$$\zeta = \frac{k_c}{\rho c_c} \quad : \text{ Talaş/iş parçasının termal yayınıcı}$$

$$l_{cn} \quad : \text{ Takım-talaş temas uzunluğu}$$

$$l \quad : \text{ Kayma düzlem uzunluğu}$$

$$l_{cn} \approx \frac{2h \sin(\phi_n + \beta_n - \alpha_n)}{\cos(\beta_n) \sin(\phi_n)}$$

$$l = \frac{h \cos(\phi_n - \alpha_n)}{\sin(\phi_n)}$$

Böylece, steady-state sıcaklık ve zaman sabiti belirlendikten sonra, takım-talaş transient temas sıcaklığının değişimi, tornalama gibi işleme proseslerindeki sabit talaş kalınlığı için kolayca belirlenebilir.

Sırasıyla, tornalama işleminde olduğu gibi zaman ile talaş kalınlığının değişimindeki durumlar için, talaş kalınlığı, Şekil.2.6'da gösterildiği gibi, sabit bölgeler içinde değişebilir ve şu an her bölge, $\Delta t = \left(\frac{\Delta\theta 60}{2\pi rpm} \right)$ 'nin farklı işleme zamanı için bir tornalama prosesi gibi düşünülmektedir. Daha sonra steady-state sıcaklıklar $[(T_{ss})_i]$ ve karşılıklı zaman sabitleri (τ_i) , her farklı talaş kalınlığı için (bir diğer ifadeyle, her bir farklı kesici dönme açısı için), önceki konularda açıklandığı gibi belirlenebilir. Birinci derece bir sistemin basit bir analizi kullanılarak, transient tepki de, belirlenebilir.

$$T_{1(t)} = (T_{ss})_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \quad (2.25)$$

$(T_{ss})_1$: Steady-state sıcaklık

τ_1 : Tornalama kaleminin $\Delta\theta$ açısal dönmesinden sonra, ilk farklı talaş kesme kalınlığına karşılık gelen zaman sabiti.

t : İşleme süresi

İlk farklı talaş kalınlığı için, t, 0 ile Δt (farklı bir talaş kalınlığına karşılık gelen işleme zamanı aralığı) arasında değişir. Daha küçük zaman artış miktarlarının (Δt) seçimi, hesaplama zamanını arttıracaktır fakat tahminlerde daha iyi hassasiyete izin verecektir. Sıcaklık, (Δt) 'nin sonundaki takip ettiği değere yaklaşır.

$$T_1 = T_1(\Delta t) = (T_{ss})_1 \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}} \right) \quad (2.26)$$

Sıcaklığı belirledikten sonra, ilk farklı talaş kalınlığı için, sistemin zamanının dondurulduğu düşünülebilir. Sonra sistem, ikinci farklı talaş kalınlığına dönmesi için, T_1 'in başlangıç sıcaklığı ile başlatılır. İkinci farklı talaş kalınlığındaki işlemeden sonra, (Δt) zaman sonra, sıcaklık;

$$T_2 = (T_{ss})_2 \left(1 - e^{-\frac{t_{2,son}}{\tau_2}} \right) \quad \text{'a yaklaşacaktır.} \quad (2.27)$$

$t_{2,son} = t_{2,ilk} + \Delta t$ 'dir.

$$t_{2,ilk} = -\tau_2 \ln \left[1 - \frac{T_1}{(T_{ss})_2} \right]$$

$(T_{ss})_2$: Sürekli işleme modelinden değer biçilen steady-state sıcaklık.

Daha genel olarak, farklı talaş kalınlığı için sıcaklık aşağıdaki denklemden bulunabilir :

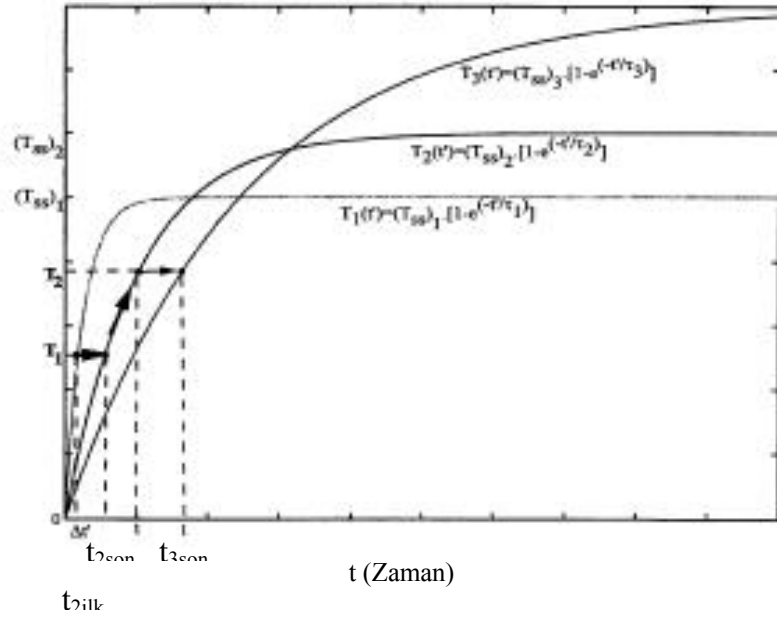
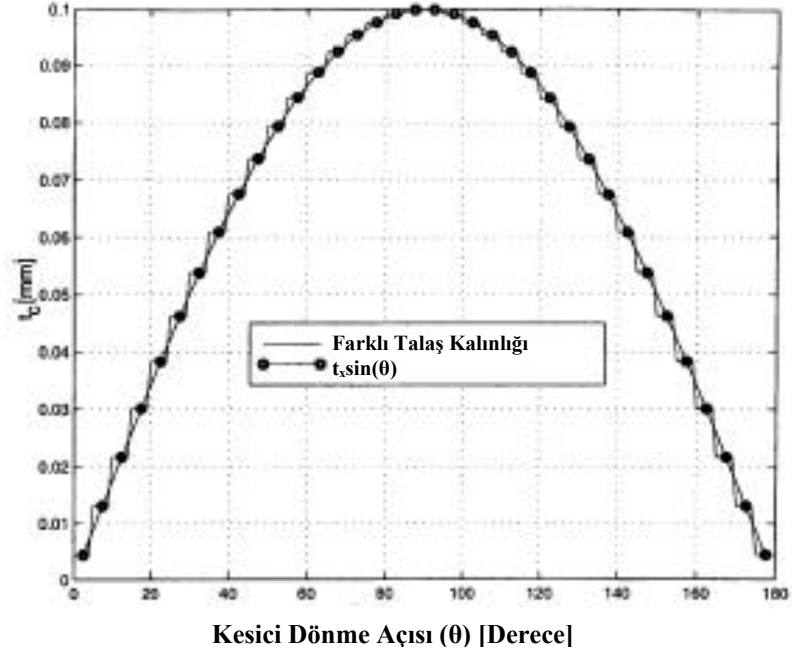
$$T_i = T_{ss(i)} \left(1 - e^{-\frac{t_{son(i)}\tau_i}{\tau_i}} \right) \quad (2.28)$$

$t_{son(i)}$: $t_{ilk} + \Delta t$

$$t_{ilk(i)} = -\tau_i \ln \left[1 - \frac{T_{(i-1)}}{T_{ss(i)}} \right]$$

Farklı talaş kalınlığı için transient sıcaklığı belirlemek için bir gösterim, Şekil.2.6'da verilmiştir. Yukarıdaki teknik, farklı kesici dönme

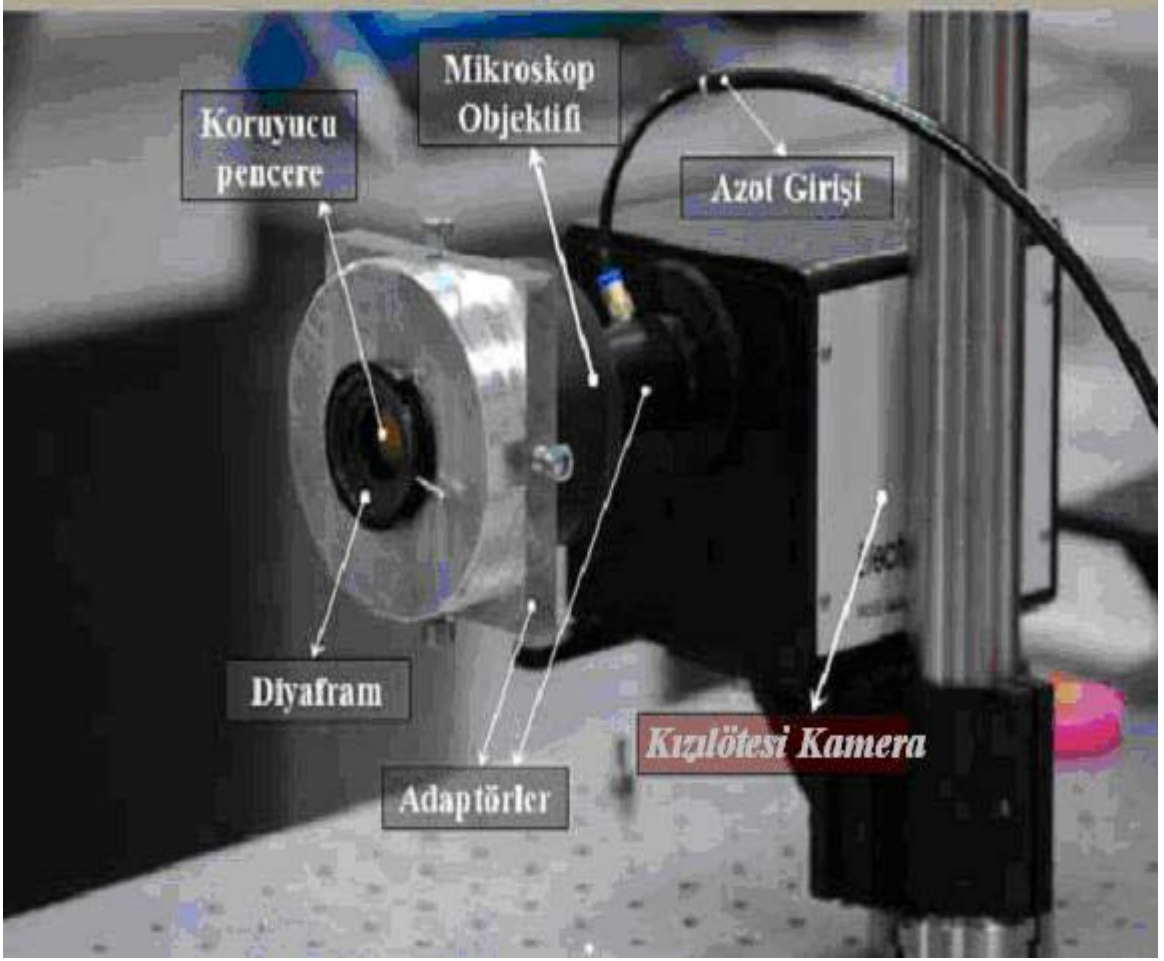
açısına karşılık gelen her bir (Δt) zaman aralığında sıcaklığı bulabilmeye imkan sağlamıştır.



Şekil.2.6. Son frezeleme işleme için takım talaş farklılaşımının gösterimi ve işleme ile değişken talaş için sıcaklık tahmini prosedürü

2.5.6. CNC tezgahlarda parça işleme esnasında ortaya çıkan termal etkileri incelemek için deney düzeneklerinin incelenmesi

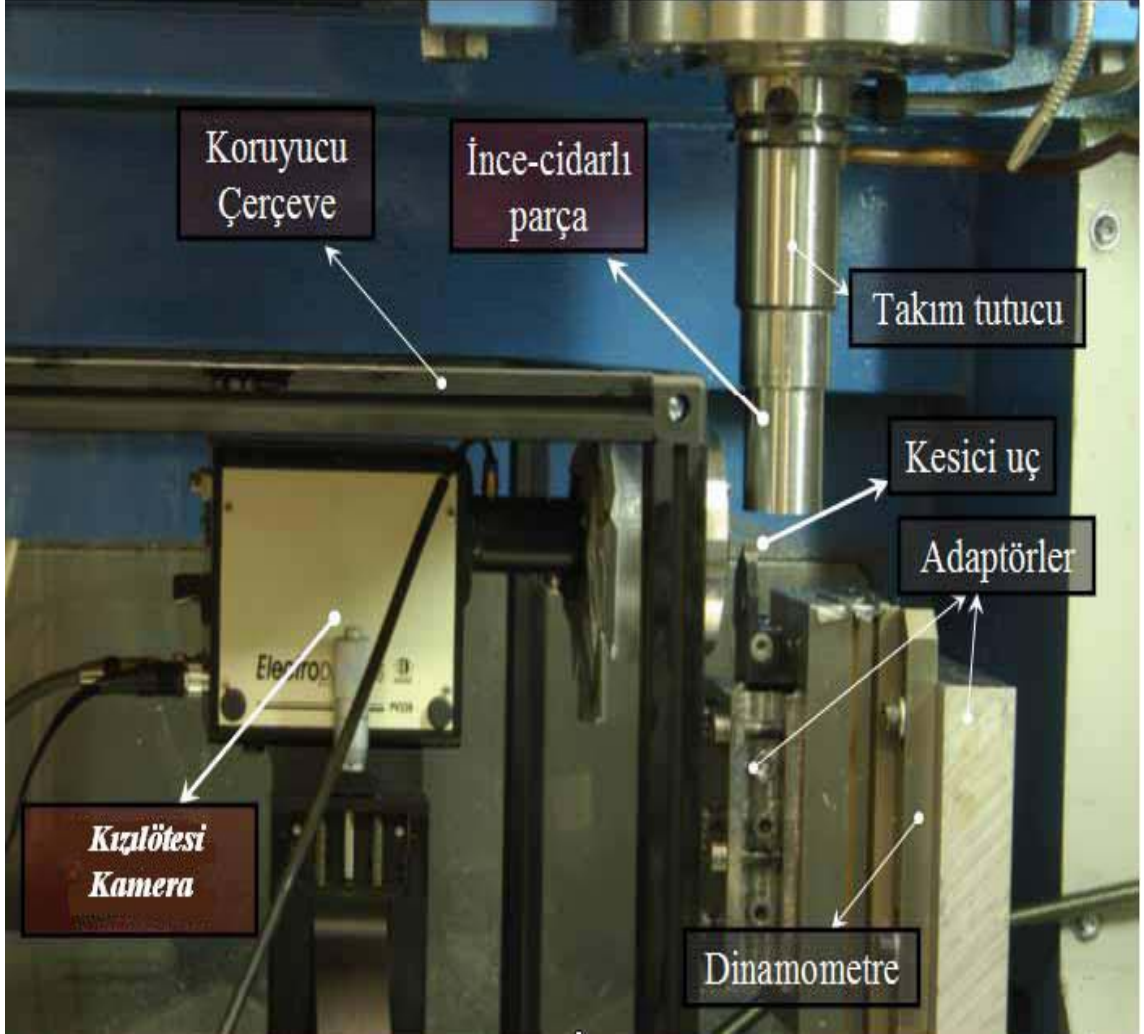
Bu bölümde, literatürde incelenen ve kullanım ve ölçüm açısından en uygun yöntemlerden biri olan kızıl ötesi kamera ile yapılan bir deney düzeneği anlatılacaktır. Referans deney, Lazoğlu ve Serpengüzel (2006)' in yaptığı çalışmada kullanılan deney düzeneğidir. Referans deneyde, piroelektriksel (ısı elektriksel) elementlerden yapılmış soğutmasız, objektif dizi dedektöre (FPA, uncooled focal plane array) sahip, modeli Electrophysics PV-320 olan bir kızılötesi kamera kullanılmıştır. FPA, baryum, stronyum ve titanyum tuzlarından oluşmuş bir seramik malzemedir. Ağırlıklı arzu edilen kompozisyon, $Ba_{0.66}Sr_{0.34}TiO_3$ ' tür. Kameranın özellikleri şu şekilde sıralanabilir : 320x240 piksel dizilim boyutuna sahip olması, -18 ile 523 °C sıcaklıkları arasında sıcaklık belirleme kapasitesi. Minimum çözünabilir sıcaklık farkı, 25 °C'de yaklaşık olarak 0.2 °C'dir. Spektral (tayfsal, izgesel) duyarlılığı (ışın dağılımı tepkisi) 2-14 µm'dir. Şekil.2.7'de, IR kamera sisteminin parçaları görülebilir. Yansıtıcı mikroskop objektifi (sayısal olarak ışığın geçtiği açıklık = 0,5 , f = 13 mm), FPA dedektörünün üzerindeki ilgilenilen bölgeyi görüntüler. Nemli çevre yüzünden yakalanan son IR görüntüsündeki parazitlere sebep olabilen yoğuşma problemini çözmek için azot (nitrojen) girdisine ihtiyaç vardır. Diyafram, kamera içine giren IR ışık şiddetini uygun hale getirir. IR ışık şiddeti, kamerayı absorbe olmaktan korumak için, azaltılmalıdır. ZnSe koruyucu pencere, deney süresince, objektifi, talaşlardan muhafaza eder. Talaş engelleme etkilerinin en aza indirilmesi durumunda, deneyler; kesme hızı ve ilerleme gibi aynı kesme şartları için ve aynı takım-iş parçası ikilisi için üç kere tekrarlanır ve talaş engellemesiz görüntüler, son sonuçlar için analiz edilir.



Şekil.2.7. Sıcaklık tahminlerinde kullanılan kızılötesi kamera sistemi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

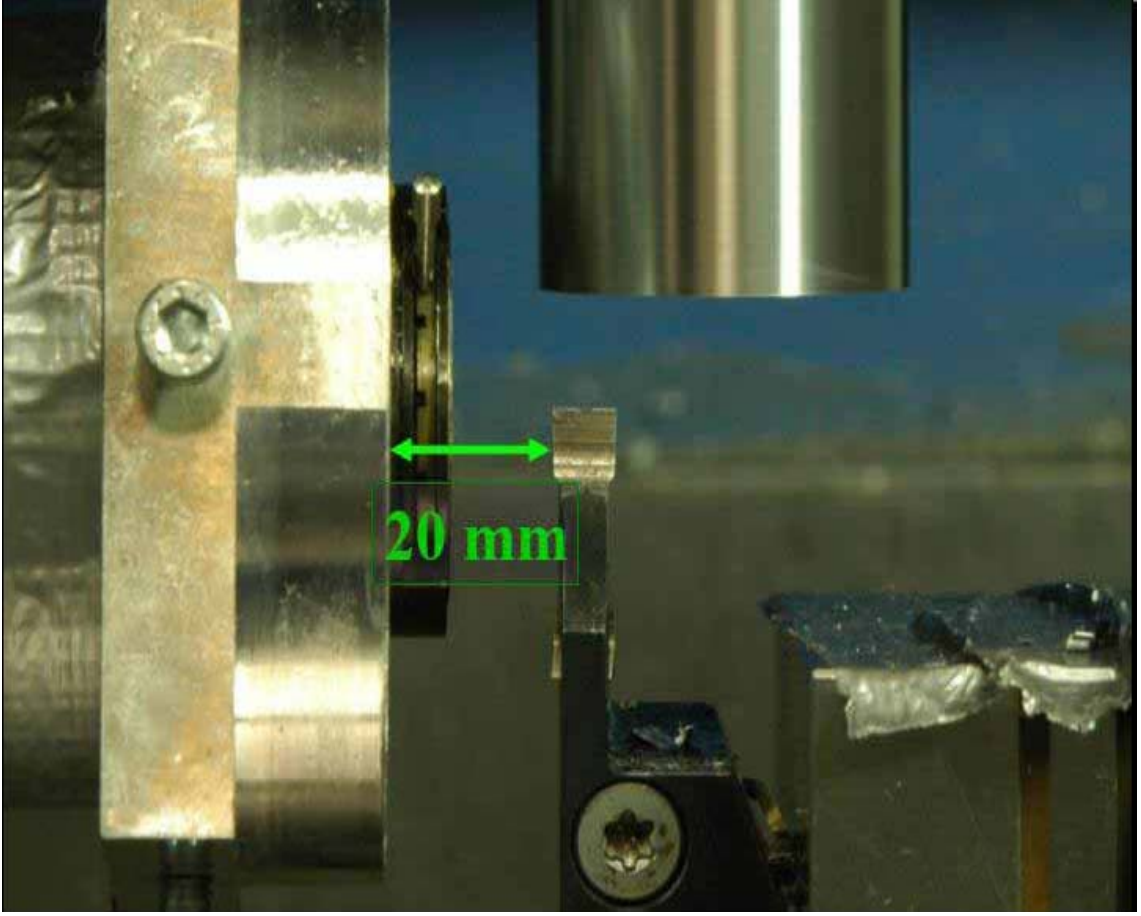
Şekil.2.8'de görüldüğü gibi, kızıl ötesi kamera sistemi, bir CNC dik işleme merkezi üzerine adapte edilmiştir. İş parçası, dikkatli bir şekilde fener mili üzerindeki takım tutucuya entegre edilmiştir. İş parçası döndürülür ve dinamometreye bağlanmış sabit takıma doğru beslenir. CNC tezgahında sıcaklık ölçümleri süresince, IR kurulumu, kamerayı ve objektifi talaşlardan ve herhangi uçuşan partiküllerden izole etmek için pleksiglas kaplama ile korunur. İnce boru iş parçası, dinamometre ve kesici takım ucu, dikey kesme testlerini uygulamak için yerleştirilir. Deneyler, iki farklı malzemeden (Alüminyum 7075 ve AISI 1050) 2 mm et kalınlığı olan ince borular ile gerçekleştirilir. Kesici uçlar Sandvik tungsten karbid uçlarıdır. (Model : N123K2-0600-0002-BGH13A) Kaplamasız ve talaş kırıncısızdır. Kesme deneylerinde iki farklı takım

geometri grubu kullanılmıştır; ilk grup 6° eğim açılı takım ile, ikinci grup 18° eğim açılı takım ile işlenmiştir. Ölçümleri kaydetmek ve görüntülemek için ise data toplama programı, CutPro 6'nın bir modülü olan MALDAQ kullanılmıştır.



Şekil.2.8. CNC dik işleme merkezi içerisindeki kızılötesi kamera sistemi (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

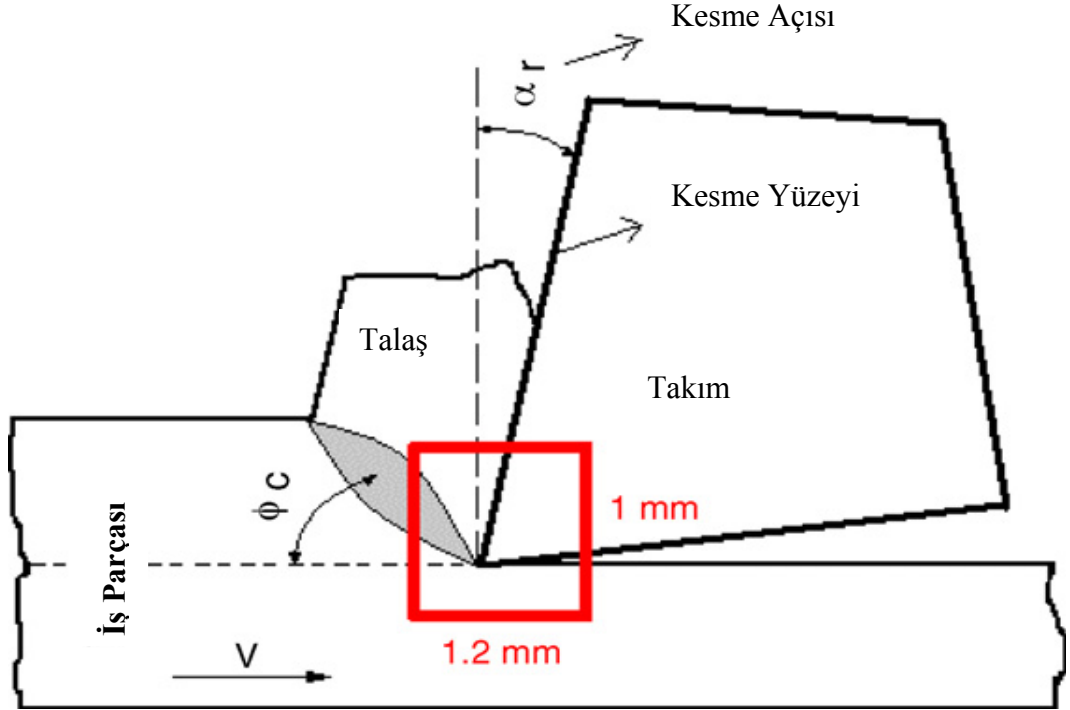
Şekil 2.9'te ise, deney düzeneğinin yakından görüntüsü bulunmaktadır. Burada, mikroskobun önündeki alüminyum adaptör ile takımın kesme yüzeyi arasında yaklaşık 20 mm mesafe vardır. Bu, takımın kesme yüzeyine yakın noktalarda sıcaklık ölçümü deneylerinin yapılmasının ne kadar zor olduğunun göstergesidir, ve kızılaltı sistemin üzerindeki fazladan koruyucu tabakanın da açıklamasıdır.



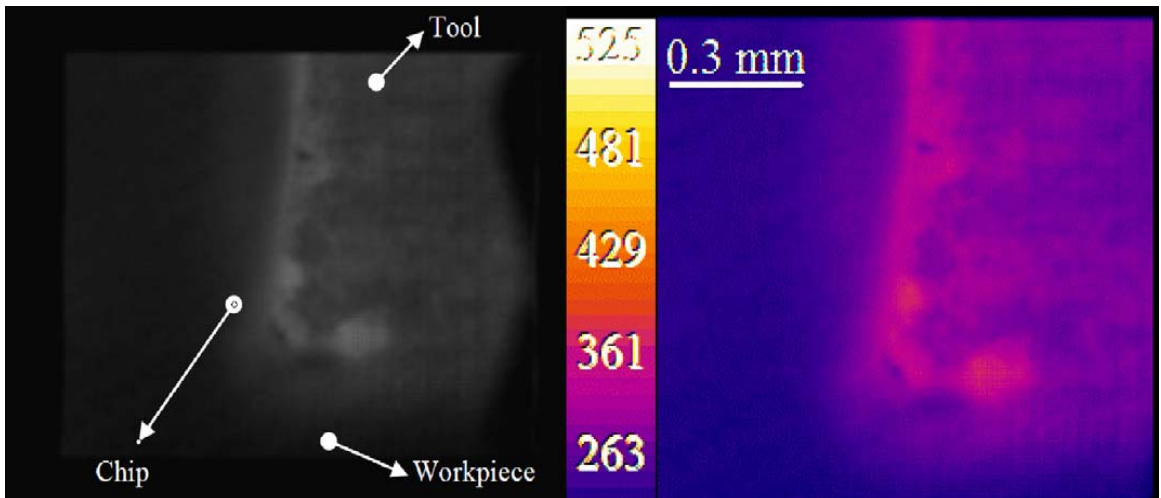
Şekil.2.9. Kızılötesi sistemin takıma yakın bölgeden görünüşü (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

Deneylerde, görüntüsü yakalanan en önemli alan, kesme yüzeydir. Bu yüzden, IR kamera, takım ucundan başlayarak bu bölgeye odaklanmıştır. Şekil.2.10'da, termal deneylerde yakalanan bölgeler görülebilir. Bu alan, 1mm x 1.2 mm lik dikdörtgensel bir bölgeye sahiptir. Her video, videonun her bir çerçevesini içeren ardışık görüntüleri şeklinde, yakalanmış ve kaydedilmiştir. Bu çerçevelerin bazıları, talaşlar yüzünden engellenmiştir bu yüzden sadece kesme yüzeyinde net olarak görülen görüntüler, göz önüne alınmıştır. Yakalanan bir IR görüntü örneği, Şekil.2.11'de solda gösterilmiştir. Bir demir renk dağılımı ölçeği üzerine oturtulmuştur ve Şekil.2.11'de sağ tarafta gösterildiği gibi sıcaklık dağılımı, IR-DAQ 32 programı ile elde edilmiştir. Maksimum kesme yüzeyi sıcaklığı, son renkli şekilden programın analiz fonksiyonunun alanı ile elde edilmiştir. Kesme yüzeyinin yanındaki küçük dikdörtgensel alanlar, bu alanda

maksimum sıcaklığı yönlendiren maksimum değerli pikselleri elde etmek için analiz edilmektedir. Her dikdörtgenel alanın piksel değeri, ortalama kesme yüzeyi sıcaklığını saptamak için kullanılmaktadır. Bundan başka, her bir küçük dikdörtgenel alan, kesme yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımını doğrulamak amacıyla analiz edilmektedir.

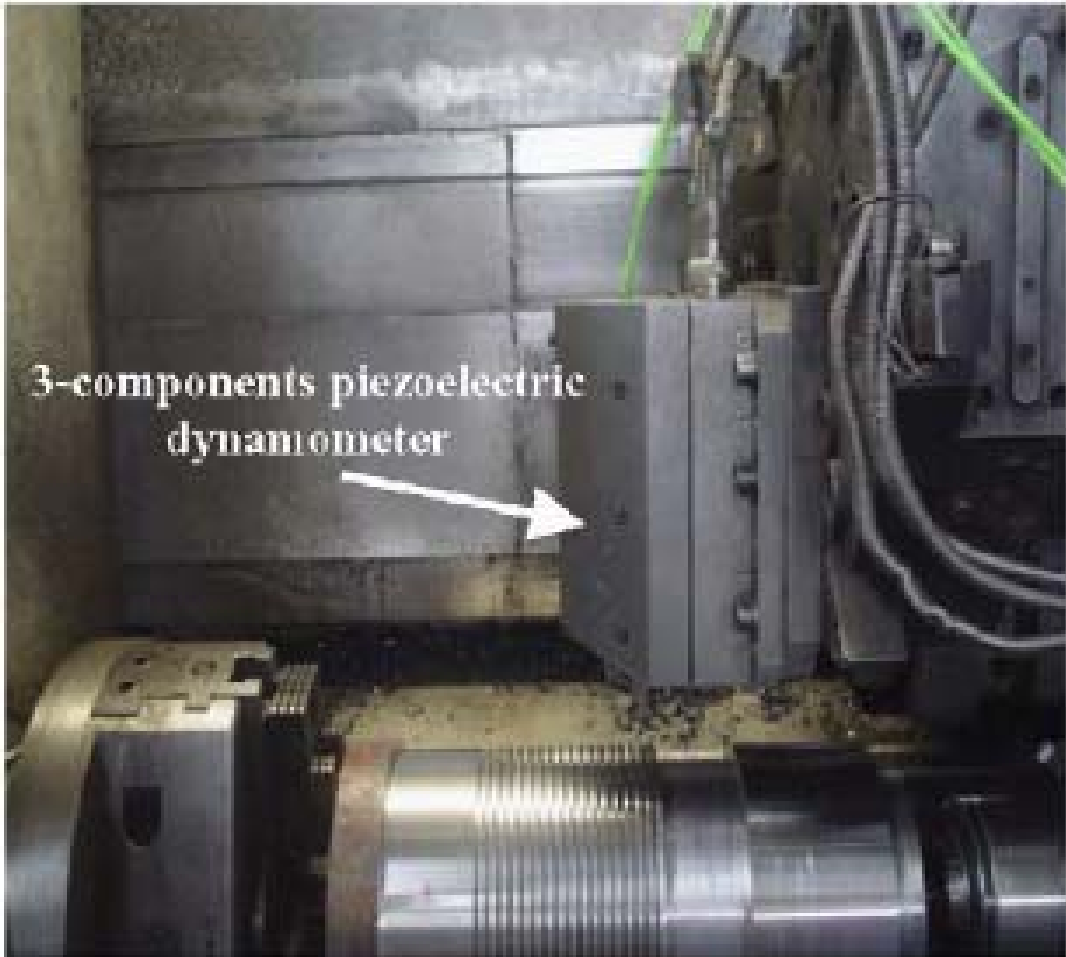


Şekil.2.10. Dikdörtgenel hacim içinde gösterilen kızıl ötesi deneylerde yakalanan (1mmx1.2mm) boyutundaki alan (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)



Şekil.2.11. Soldaki görüntü : Al 7075 malzemesinin dikey işlenmesi süresince çekilen ır görüntüsü. Sağdaki görüntü : Sıcaklık skalası üzerine oturtulmuş ır görüntüsünün renkli final versiyonu (Lazoğlu ve Serpengüzel'den, 2006)

Bu deney düzeneğinin haricinde, literatürde başka deney düzeneklerine de rastlamak mümkündür. Bunlardan biri de Umbrello et al. (2007) nin yapmış olduğu çalışmadır. Bu deney düzeneğinde ortogonal kesme koşullarında, takım sıcaklıklarını ölçmek üzere kurulmuştur. Soğutma sıvısı kullanmaksızın, kaplamasız ISO P40 karbür takım ile 19 derecelik kesme açısında, 50-150 m/dak kesme hızı, 0.05-0.15 mm/dev ilerleme hız aralıklarında, AISI 1045 malzeme üzerinde işleme yapılmıştır. Kesme ve itme kuvvetleri, 3 parçalı bir dinamometre ile ölçülmüştür. 0.5 mm çapındaki bir Kromel/Alumel K tipi termokupul ile uygun şekilde -elektriksel boşaltım makinesi yardımıyla- takım içine yerleştirilmiştir. Kullanılan bu termokupul ile ± 1.1 °C veya (%4) hata oranında ölçümler yapılmıştır.



Şekil.2.12. Termokupul ile sıcaklık ölçüm deney düzeneği (Umbrello et. Al (2007)'den)

2.5.7. Referans deneyin sonuçları

Teorik sıcaklık modelini doğrulamak için, simülasyonlar ve IR kamera ile deneyler, Tablo.2.1’de belirtilen şartlar altında uygulanmıştır. 40 farklı deney, kızıl ötesi kamera sistemi ile Al 7075 ve AISI 1050 olmak üzere iki farklı malzemede iş parçasının dikey işlemleri için iki farklı açıda takım kurulumu ile uygulanmıştır. Bunun dışında kesme parametrelerinin yanı sıra iş parçası ve takımın termal özellikleri ile takım geometrisinin etkisini görmek için kesme hızı ve ilerlemeler çeşitlendirilmiştir.

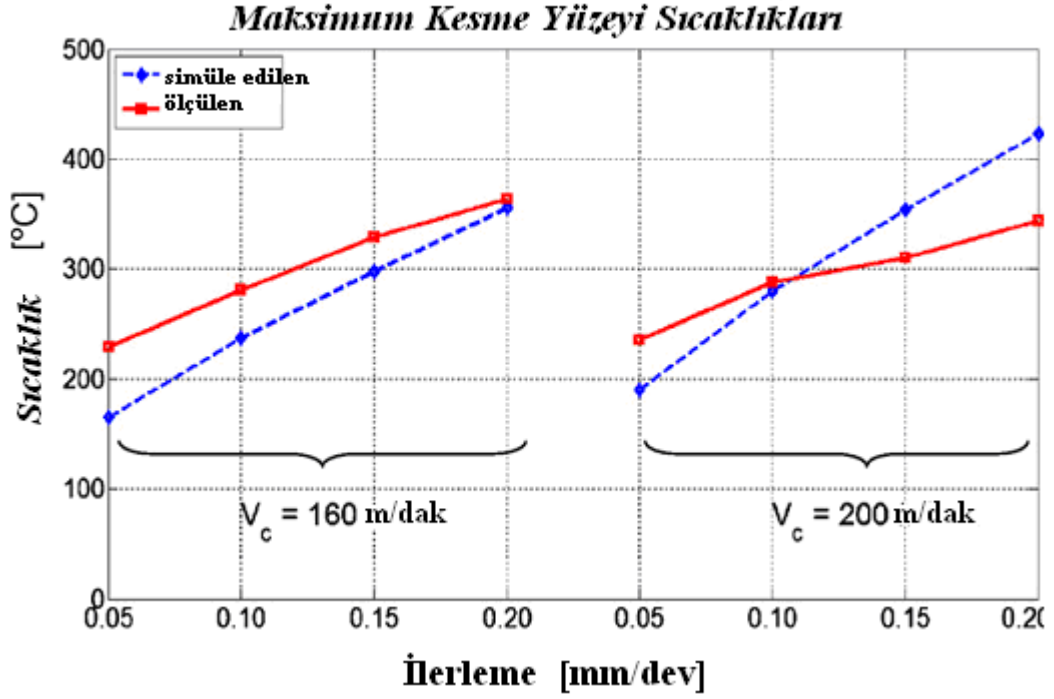
Çizelge.2.1. Termal simülasyonlar ve deneysel doğrulamalar için kesme koşulları

Termal Simülasyonlar ve Deneysel Doğrulamalar İçin Kesme Koşulları				
İş Parçası Malzemesi	Takım Kesme Açısı (derece)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Test Sayısı
Al 7075	6 ve 18	160, 200	0.050, 0.100, 0.150, 0.200	16
AISI 1050	6 ve 18	40, 60, 80	0.025, 0.050, 0.075, 0.100	24

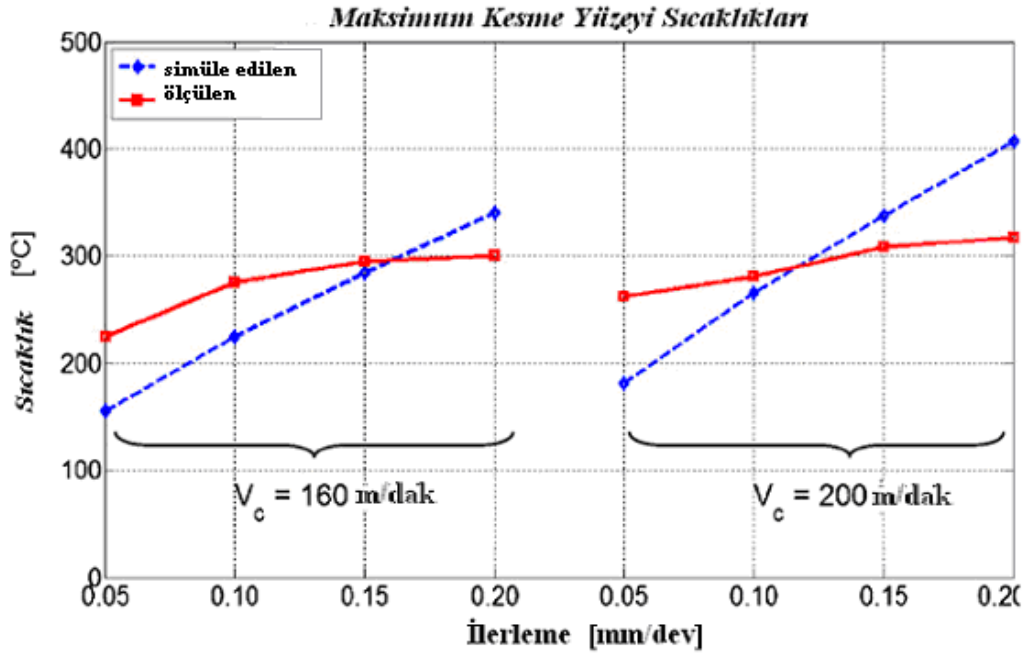
Simülasyonlar sıcaklık dağılımlarını ve kesme yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve takım için eş eğri grafiklerini kapsar. Doğrulamalar, sadece bir takım için yapılmıştır. Bunun için, üç ana kriter, göz önüne alınmıştır. Kesme yüzeyinde maksimum sıcaklığa ulaşma, kesme yüzeyinde ortalama sıcaklık ve kesme yüzeyindeki sıcaklık dağılımı.

Maksimum kesme yüzeyi sıcaklığının kriteri için, her deneyin sonucu ayrı ayrı analiz edilmiştir ve sonuçlar Al 7075 için Şekil.2.12 ve Şekil.2.13’te, AISI 1050 için Şekil.2.14 ve Şekil.2.15’te sırasıyla verilmiştir. Al 7075 ve AISI 1050 nin dikey işlemleri için test koşulları göz önüne alınırsa, açık olarak, maksimum takım-talaş ara yüzey sıcaklığının, artan kesme hızıyla arttığı görülür. Bu ilişki, deneylerde kullanılan kesme hızının 40 m/dak ‘dan 80 m/dak ‘ya artırılması olgusundan dolayı, AISI 1050’nin

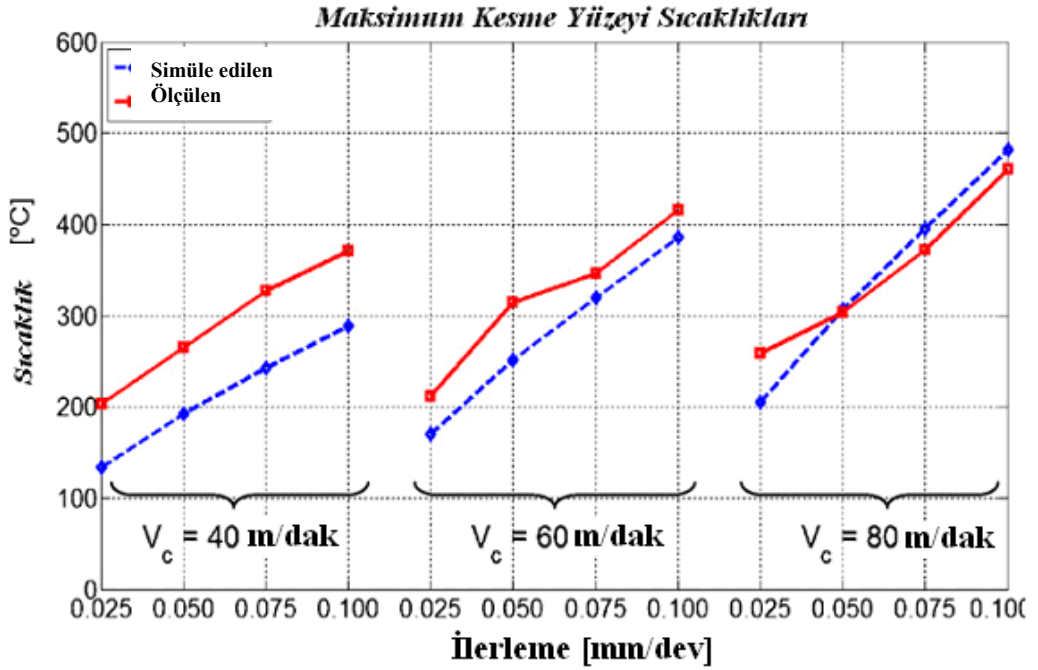
dikey işleme dikkate alındığı zaman daha da açıktır. Diğer bir olgunun, bu deneylerin sonuçlarından, maksimum takım-talaş arayüzey sıcaklığının, artan ilerleme ile arttığı olduğu görülebilir. Bu ilişki, her iş parçası malzemesi, kesme hızı ve takım geometrisi için geçerlidir. Maksimum takım-talaş arayüzey sıcaklığı ve takım kesme açısı arasındaki ilişki, ayırıcı bir özellik değildir. Bu, bize, Al 7075 ve AISI 1050 için kullanılan test koşulları göz önüne alındığında, takım kesme açısı seçiminin, maksimum takım-talaş arayüzey sıcaklığına, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri gibi etki etmediğini gösterir.



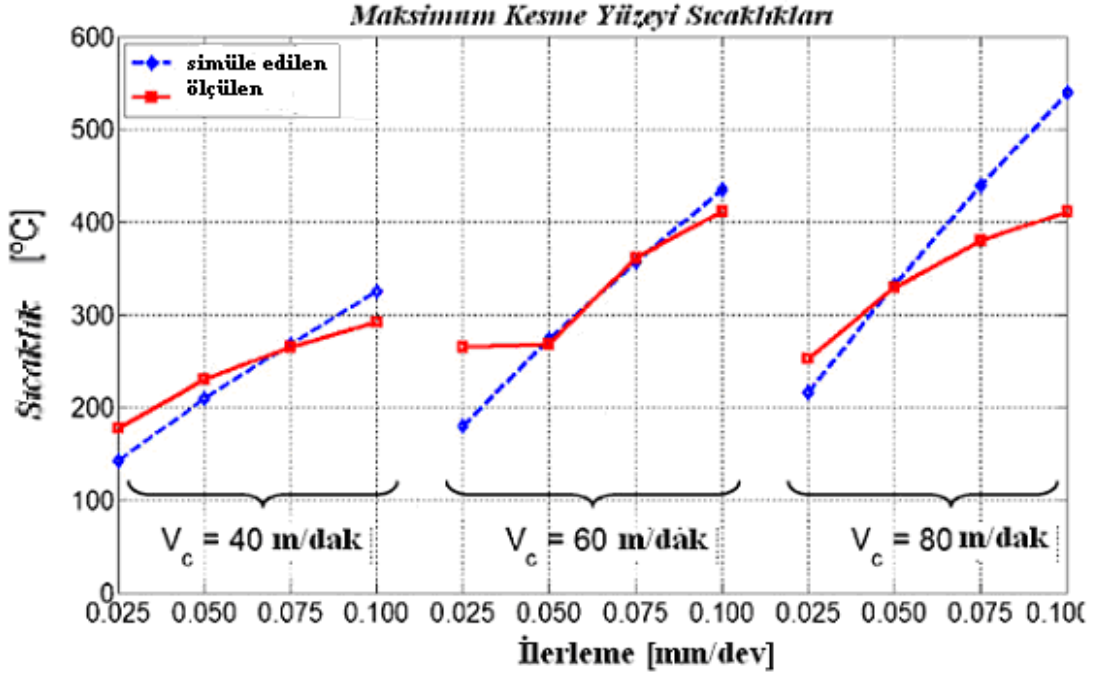
Şekil.2.13. 6° kesme açılı takım ile Al 7075 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007)



Şekil.2.14. 18° kesme açılı takım ile Al 7075 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007)

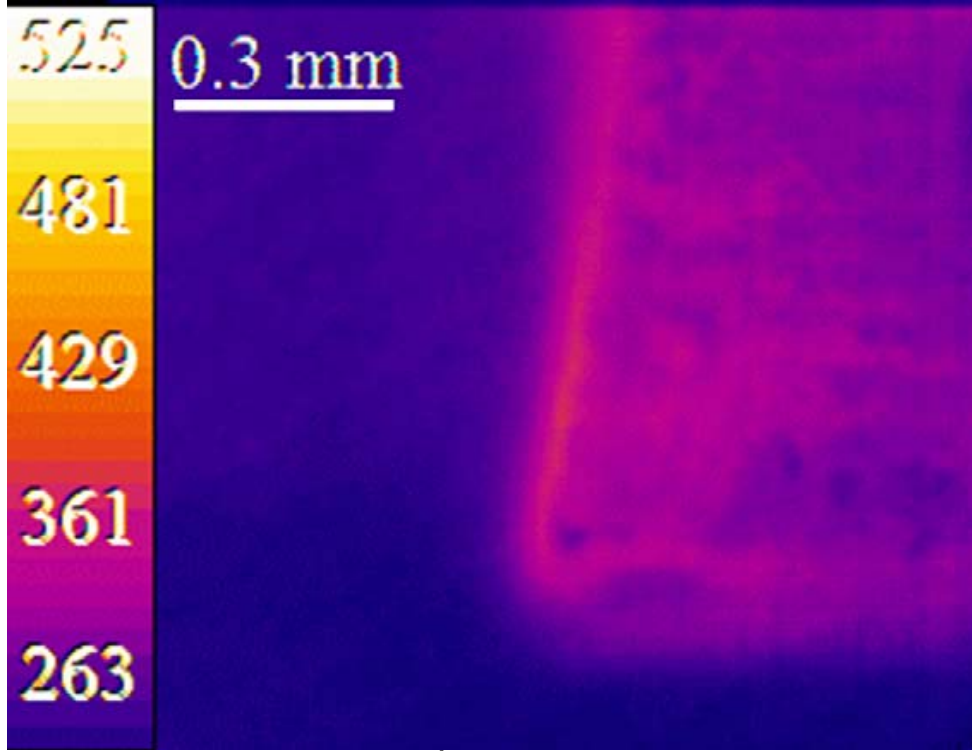


Şekil.2.15 6° kesme açılı takım ile AISI 1050 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007)

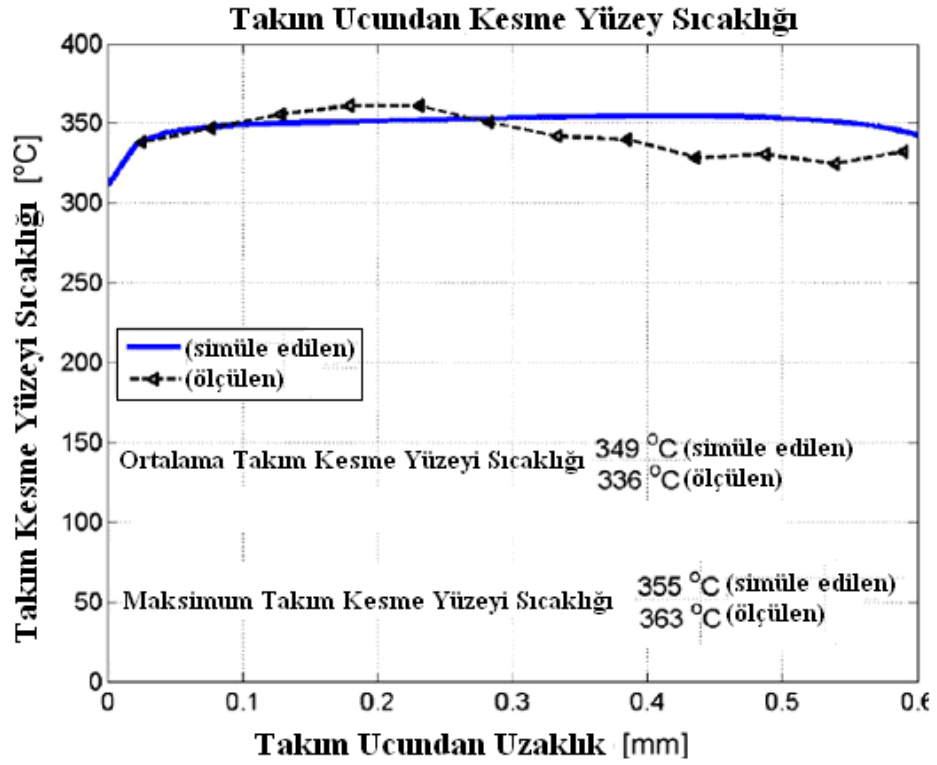


Şekil.2.16 18° kesme açılı takım ile AISI 1050 malzemesi için ölçülen ve simüle edilen maksimum kesme yüzeyi sıcaklıkları (Dinc, et al. 'den, 2007)

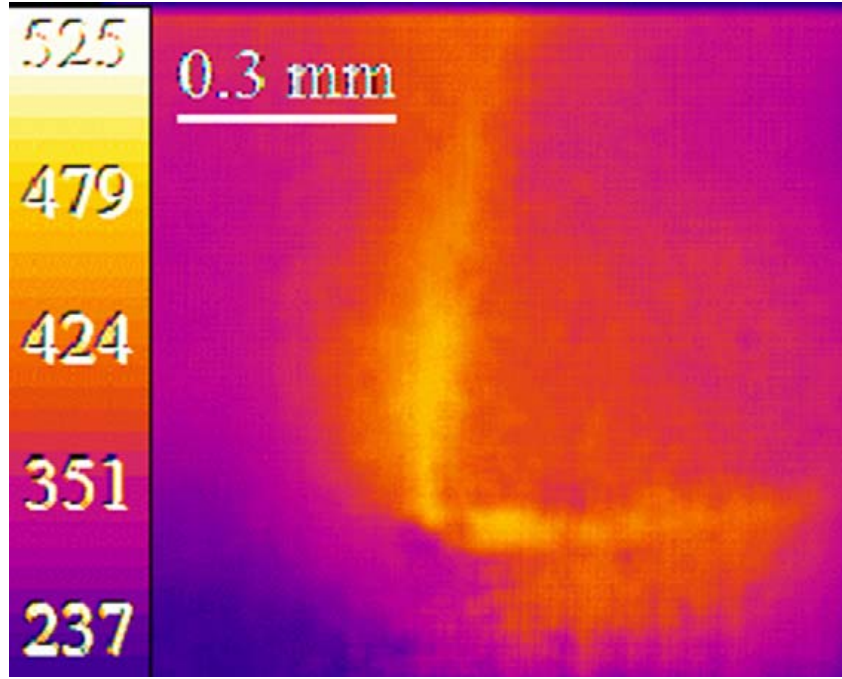
Ortalama kesme yüzeyi sıcaklığının ve onun sıcaklık dağılımının analizi, iki farklı deney için uygulanmıştır. İlk deney, Al7075 için, eğim açısı 6° olan tungsten karbid takım ile 160 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme ile işlenmiştir. Bu deneyle ilgili IR görüntüsü, Şekil.2.16'da verilmiştir ve eğimli yüzeydeki sıcaklık dağılımının ve ortalama eğimli yüzey sıcaklığının sağlanması, Şekil.2.17'de gösterilmiştir. İkinci deney, AISI 1050 için, eğim açısı 6° olan tungsten karbid takım ile 80 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme ile işlenmiştir. Bu deneyin IR görüntüsü de, Şekil.2.18'de verilmiştir ve eğimli yüzey sıcaklık dağılımı ve ortalama sıcaklık Şekil.2.19'da gösterilmiştir. Takım kesme yüzeyi sıcaklık dağılımının analizi için, takım ucundan başlayan 0.6 mm uzunluğu, bu alanın IR görüntüleri içinde en açık görülen bölgesi olmasından dolayı göz önüne alınmıştır. Bu sonuçların ikisi için de, deneylerin sonuçları, farklı takım geometrileri, farklı kesme hızları ve ilerlemeleri için simülasyonlar ile iyi bir uyum sağladığı kolayca görülebilir.



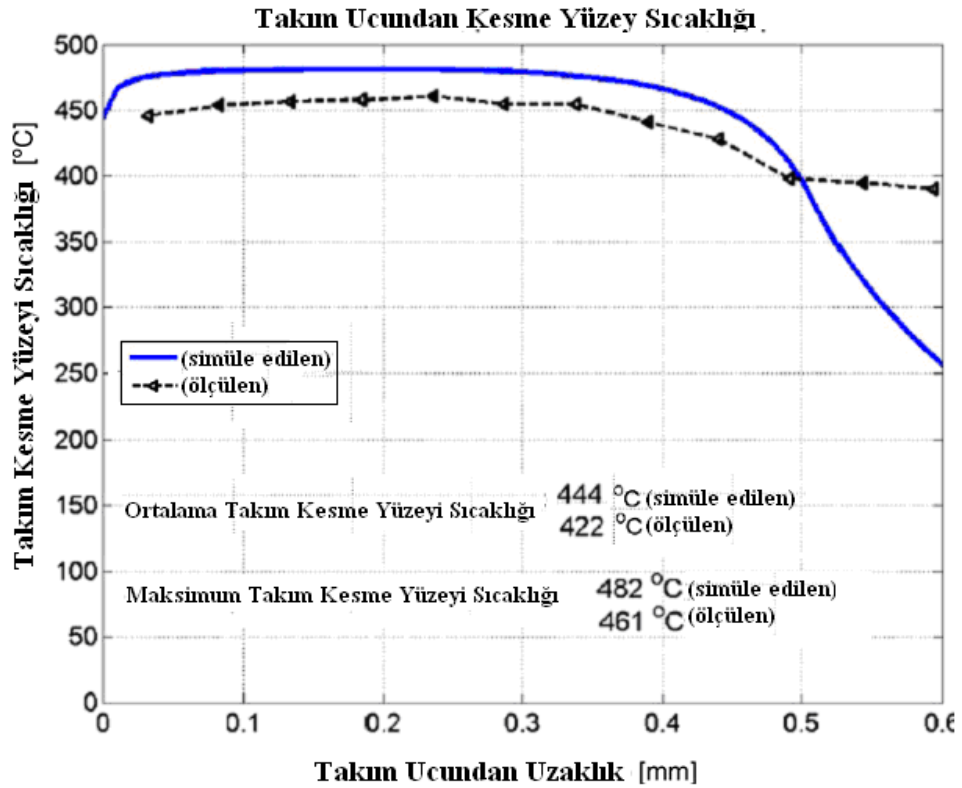
Şekil.2.17 Al 7075 malzemesinin 18° eğim açılı Tungsten Karbid takım ile, 160 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme ile dikey işleminde elde edilen IR görüntüsü



Şekil.2.18. Simüle edilen ve ölçülen, takım ucundan kesme yüzeyi sıcaklık dağılımı



Şekil.2.19 AISI 1050 malzemesinin 6° eğim açılı Tungsten Karbid takım ile, 80 m/dak kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme ile dikey işleminde elde edilen IR görüntüsü



Şekil.2.20 Simüle edilen ve ölçülen, takım ucundan eğimli yüzey sıcaklık dağılımı

BÖLÜM 3

DEFORM ANALİZ PROGRAMI YARDIMI İLE REFERANS DENEYİN SİMÜLASYONU

Bu çalışmada, CNC tezgahlarda parça işlenirken ortaya çıkan termal değişimin hesaplanması için DEFORM - 3D V6.1. Machining 3D analiz programı kullanılmıştır. Bu bölümde DEFORM programı tanıtılmakta ve bu çalışmada simülasyonun nasıl yapıldığı adım adım anlatılacaktır ve sonuçların grafik ve liste halinde çıkartılması incelenecektir.

3.1. Deform Analiz Programı

DEFORM, metal form verme, ısıl işlem, talaşlı imalat ve mekanik birleştirme proseslerini, tasarımcılara, bilgisayar ortamında, üretim bölümünde yapılan deneme yanılma yöntemine göre analiz etmede çok daha uygun imkanlar ve de sonuçlar sunan bir programdır. Rekabete dayalı bir ekonomik pazarda, deneme yanılma yöntemi ile yapılacak olan imalat prosesleri, hem zaman kaybı, hem maliyet artışı, hem de bu prosesi denemek için gerekli olan makine parkının geniş olma gereksinimi yüzünden oldukça masraflı olacak ve de piyasa şartlarında rakipler arasında kalabilmek imkansız hale gelecektir. Elde edilebilecek sonuçlar, bir sonlu elemanlar yöntemi kullanan analiz yöntemiyle yapılabildiği gibi oldukça geç alınacaktır. Bu da; bir bakıma teknolojiyi, rakiplerine göre daha geriden takip etmek olacaktır.

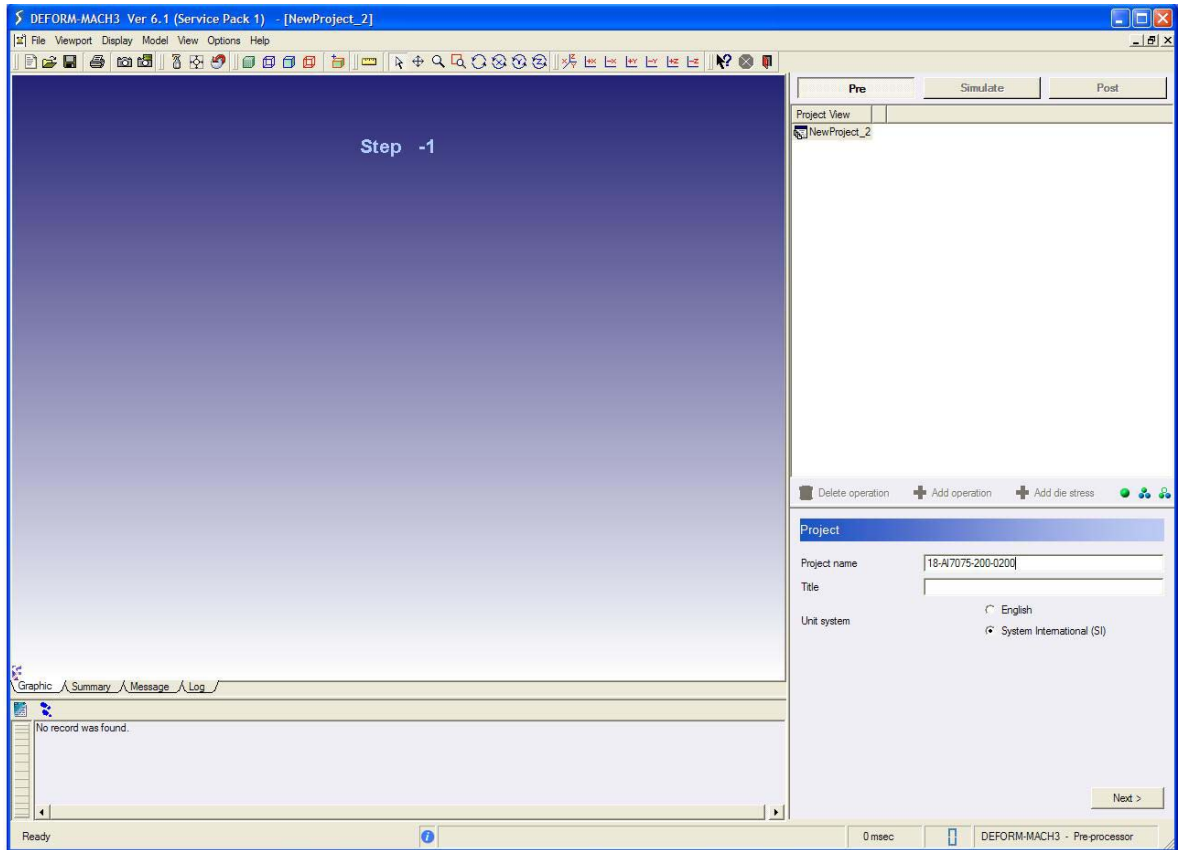
Deform da, bahsedilen bu gereksinimlerden ortaya çıkmış, talaşlı ve talaşsız imalat ile alakalı mekanik analizler ile birlikte ısıl analizlerin de yapılabildiği, oldukça kullanışlı bir programdır.

3.2. Deform programı ile problemin tanımlanması

Referans deneyde yapılan proses; daha önce de belirtildiği üzere, çeşitli kesme hızları, ilerlemelerde, WC (Volfram Karbür) kaplamasız bir tornalama klemi ile çeşitli

kesme açılarında, Al7075 malzemenin işlenmesi işlemidir. Burada adım adım, problemin nasıl tanımlanacağı belirtilecektir:

Deform programında, talaşlı imalat problemi inputları girmek oldukça kolaydır. İlk olarak açılan yeni bir proje sayfasında, problemin hangi birim sistemi ile tanımlanacağı belirlenmelidir. Burada İngiliz Birim Sistemi (English) ile Uluslar arası Sistem (SI) seçeneklerde mevcuttur. Burada probleme bir isim verilerek (kesme parametrelerini tanımamıza sağlayacak; örneğin 18-Al7075-200-0100 gibi bir isim) SI birim sistemine göre çözdürülecektir. (Şekil.3.1)

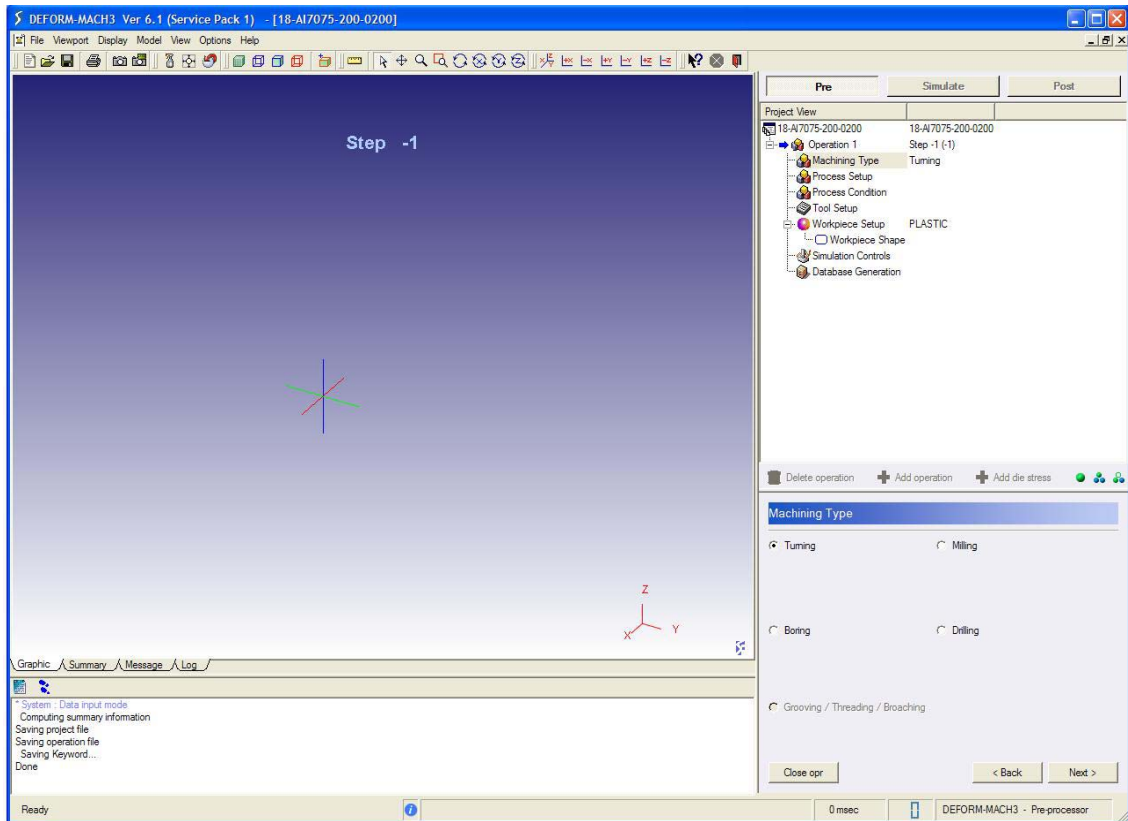


Şekil.3.1. Problem isminin girilmesi ve birim sistemin seçilmesi

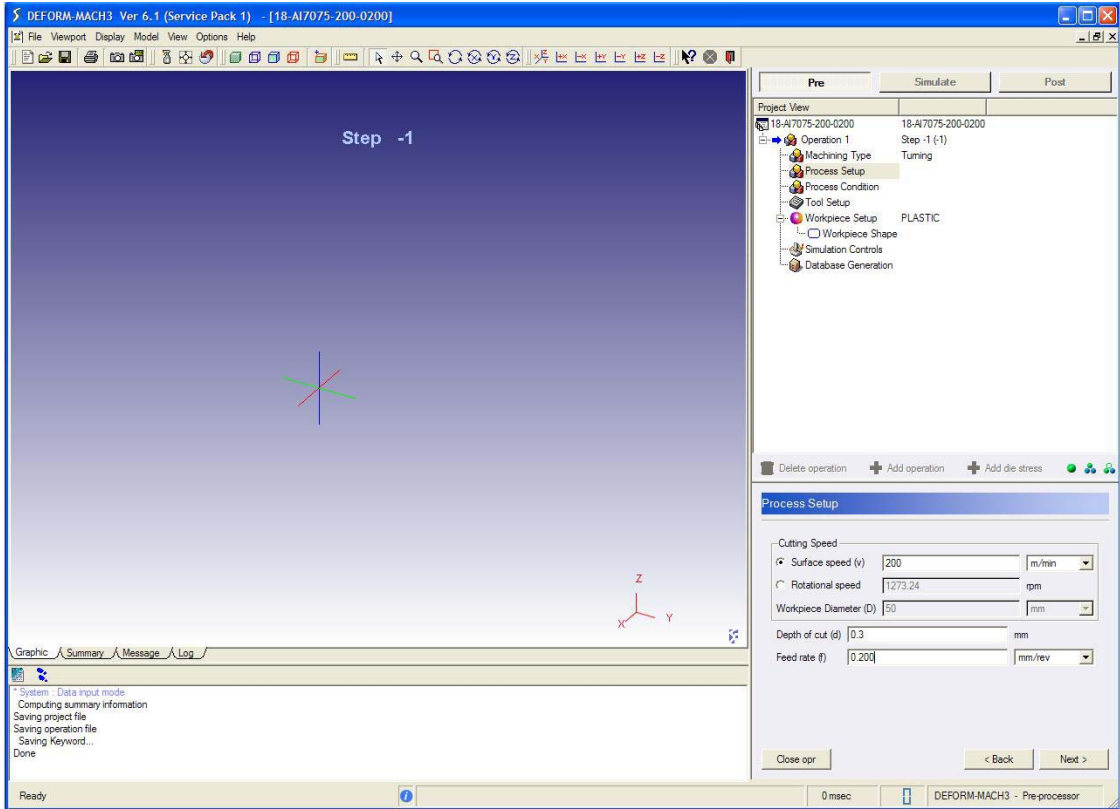
Daha sonraki adımda, ne tip bir talaşlı imalat yapılacağı seçilmektedir. Tornalama (Turning), Frezeleme (Milling), Rektefiye Etme (Boring), Matkapla Delme (Drilling) proseslerinden biri seçilebilir.

Bu problemde, referans deneyde yapılan tornalama işlemi yapılacaktır. Tornalama prosesi için, “Machining Type” kısmından “Turning” olarak seçilir. (Şekil.3.2)

Bir sonraki adımda; proseste kullanılacak kesme parametreleri girilir. Bunlar, kesme hızı [m/dak], kesme derinliği [mm], ilerleme hızı [mm/dev] parametreleridir. Örnek tanımlamada, Process Setup kısmında, kesme hızı 200 m/dak, 0.3 mm kesme derinliği ve 0.200 mm/dev olarak alınmıştır. (Şekil.3.3)

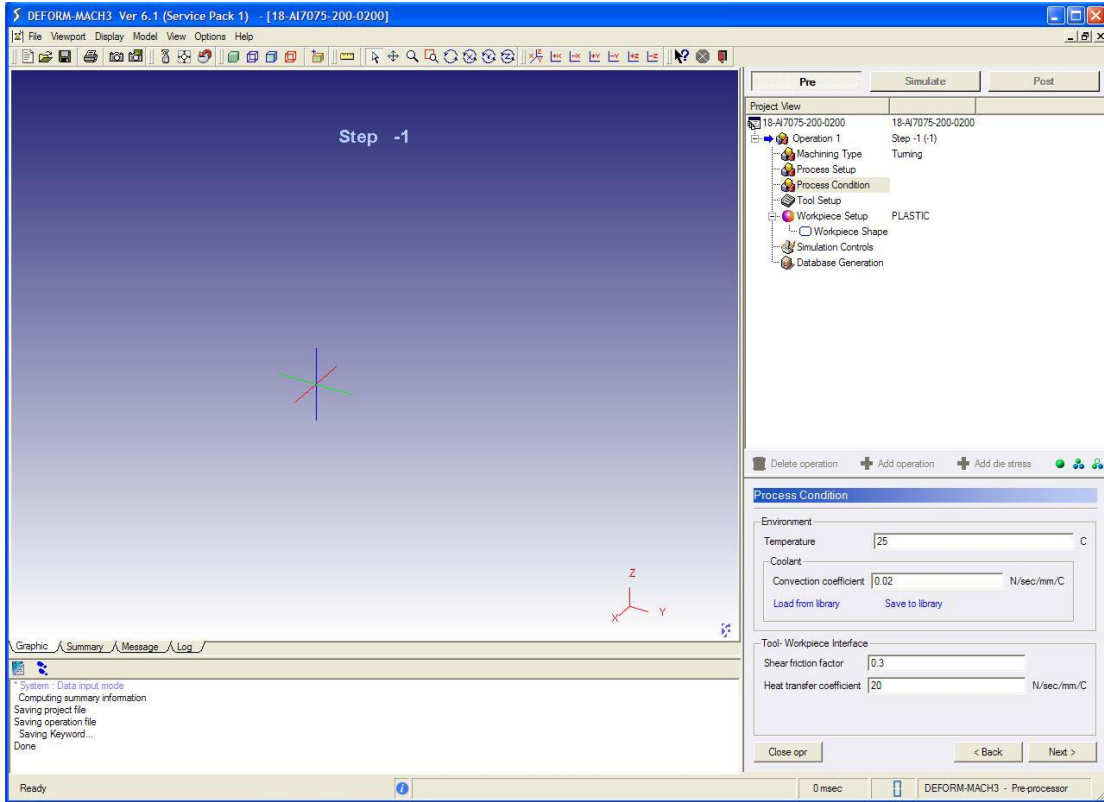


Şekil.3.2. İşleme tipinin seçilmesi



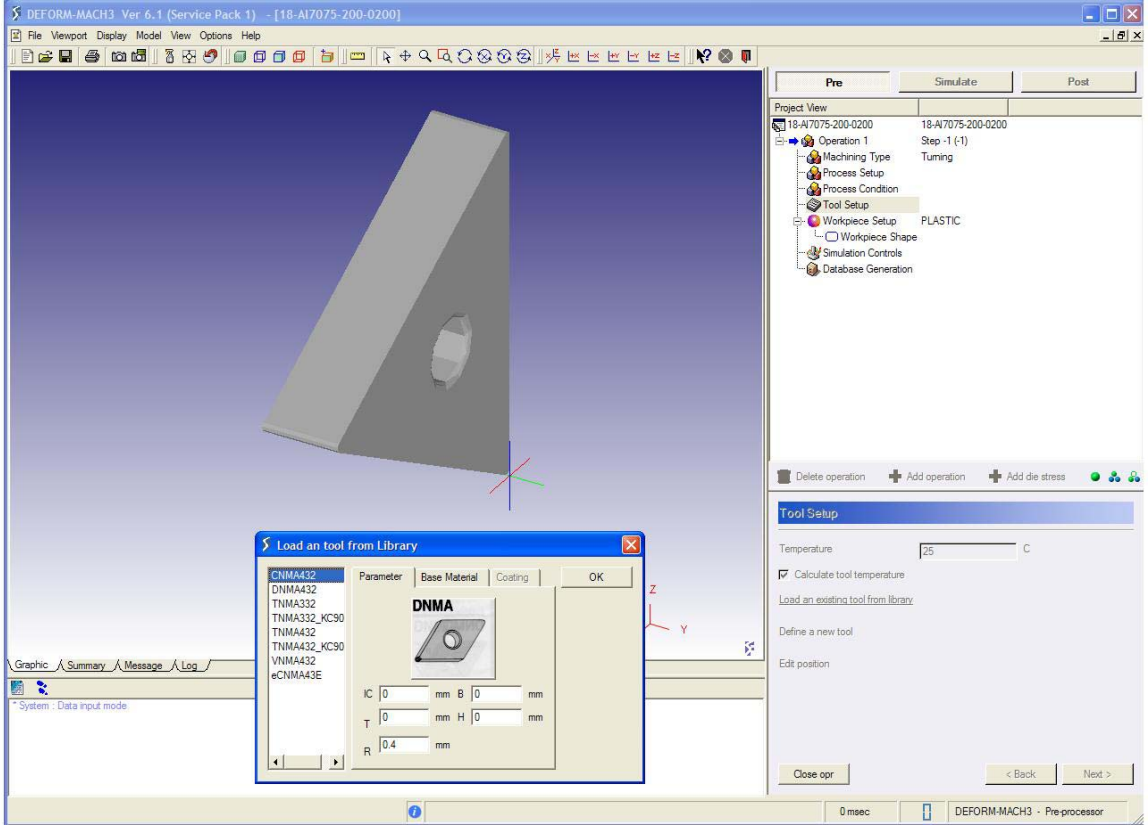
Şekil.3.3. Kesme parametrelerinin girilmesi

Daha sonraki adımda; çevre sıcaklığı, takım – iş parçası arayüzey sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısı gibi proses koşulları tanımlanır. Burada çevre sıcaklığı 25 °C olarak alınmıştır. Takım- iş parçası arayüzeyindeki sürtünme faktörü ile ısı transfer katsayısı; Deform'un sürtünme faktörü için 0.3 – 0.6 aralığı önermesinden çeşitli denemeler yaparak Al7075 malzeme, WC kaplamasız takım çifti için en uygun ve mantıklı sonuçlar veren değer alınmıştır, (0.3). Yine Deform'un ısı transfer katsayısı için verdiği $15-45 \left[\frac{N.mm}{s.C} \right]$ önermesinden yine denemeler yapılarak, Al7075 malzeme, WC kaplamasız takım çifti için en uygun ve mantıklı sonuçlar veren değer alınmıştır, $(20 \left[\frac{N.mm}{s.C} \right])$. İlgili parametreler, Process Condition kısmında girilir. (Şekil.3.4)



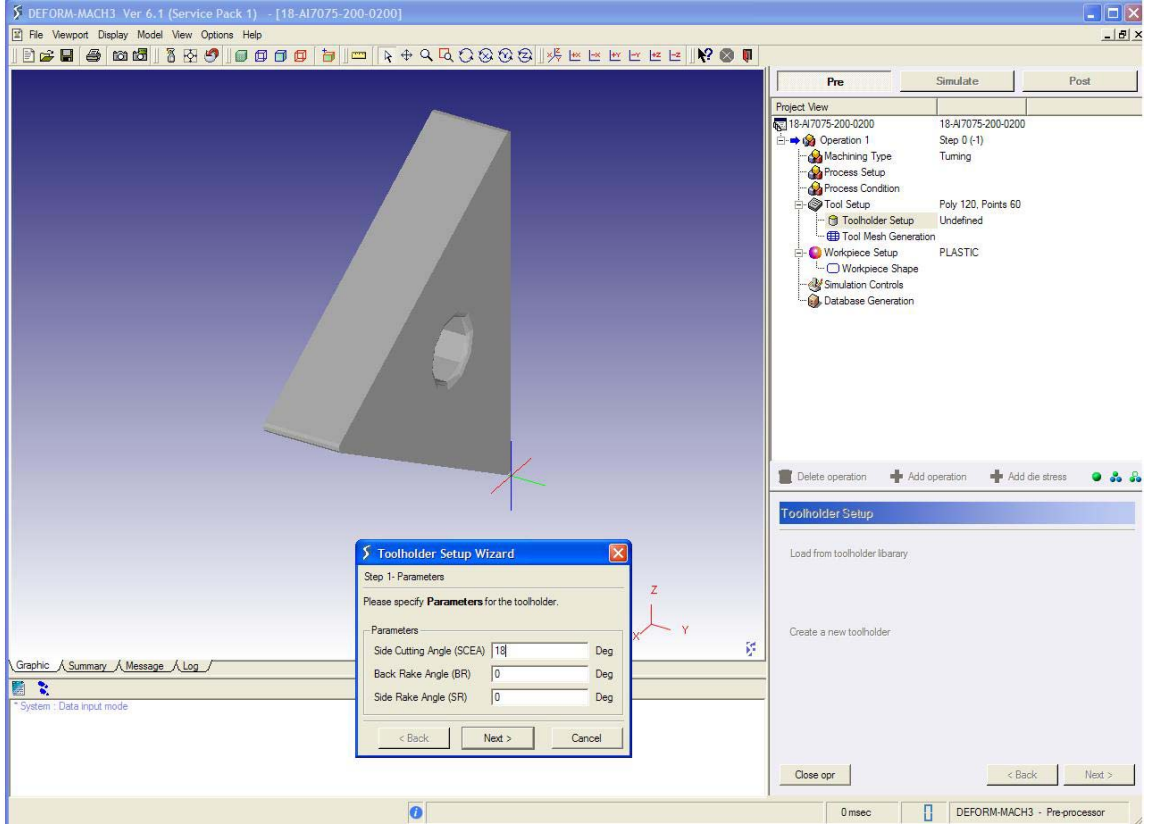
Şekil.3.4. Proses koşullarının girilmesi

Proses koşulları belirlendikten sonra, sıra, kütüphaneden seçeceğimiz veya kendi oluşturduğumuz bir takım geometrisi seçmeye gelir. Deform'un kendi kütüphanesinde çeşitli kesici uç takım geometrileri mevcuttur. Bunlar üzerinde köşe radüsü, kenar uzunluğu, kalınlık gibi çeşitli parametreleri değiştirebilme imkanı da vardır. Eğer, farklı bir kesici uç takım geometrisi düzenlenmek istenirse, herhangi bir bilgisayar destekli tasarım programı yardımıyla arzu edilen modelleme yapılabilir. Burada dikkat edilecek husus, yapılan modellemenin uzantısının “.STL” olması gerektiğidir. Tasarlanan yeni kesici uç, “ DEFORM3D\V6_1\Machining\Insert “ klasörü içerisine kopyalanır. Burada tasarlanıp, kütüphaneye eklenen, kaplamasız, WC (Volfram Karbür) köşe radüsü 0.4 mm olan bir kesici uç seçilmiştir. Tool Setup bölümünde, Load an existing tool from library kısmından, istenilen takım seçilir. (Şekil.3.5)



Şekil.3.5. Takım kütüphanesinden kesici uç seçimi

Bir sonraki adımda, kesici uca uygun bir takım tutucu geometrisi seçilir. Burada takıma kesme açısı gibi açısal ölçü değerleri girilir. Referans deneye uygun olarak, Toolholder Setup bölümünden, Create a new tool holder kısmından 18° lik bir kesme açısı değeri verilmiştir. (Şekil.3.6)

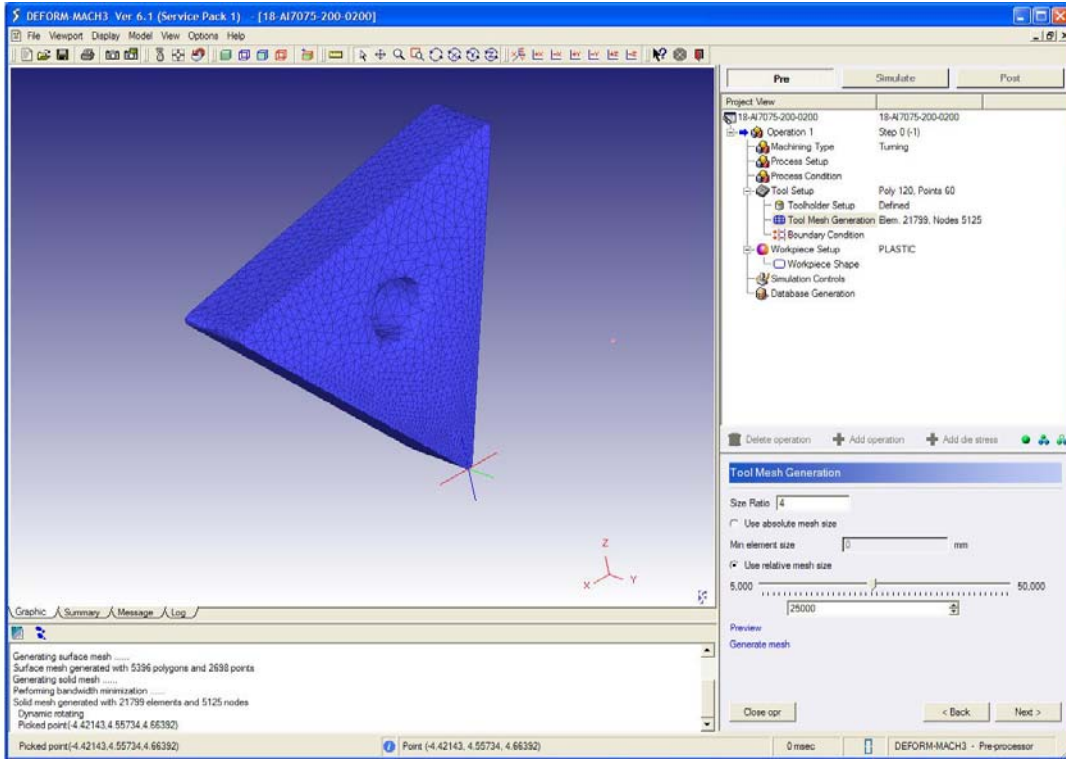


Şekil.3.6. Takım tutucu seçimi, kesme açısına değer verilmesi

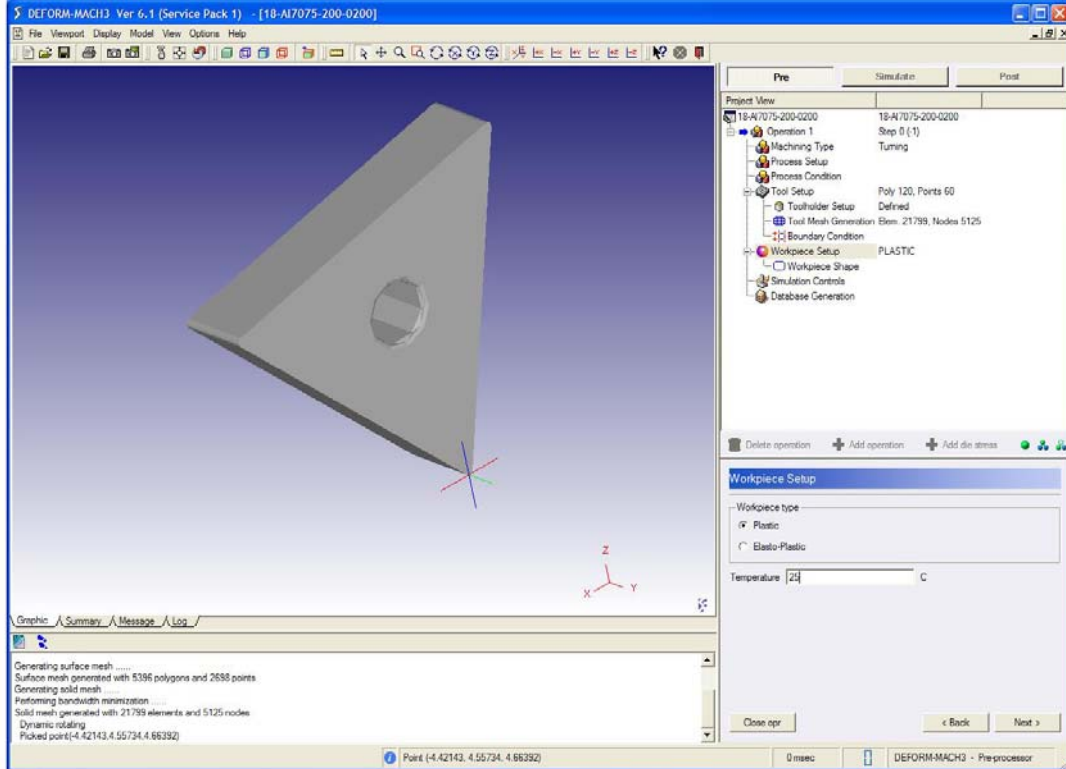
Takım, takım tutucu seçimi tamamlandıktan sonra, kesici uç, analizlerde mantıklı sonuçlan alınabilecek parçalara ayrılır (meshing). Çeşitli denemeler sonucu, optimum mesh değerleri olarak, Tool Mesh Generation bölümünde, Size Ratio; 4, Use Relative Mesh Size; 25000 girilir. (Şekil.3.7) Bu değerlerin altında inputlar girmek, analiz sonucunu mantıksız aralıklarda verirken, daha üzerinde değerler vermek de, gereksiz zaman kayıplarına sebep olacaktır. Belirli bir mesh değerinden sonra bir yakınsama olmaktadır.

Workpiece Setup bölümünde, iş parçasının plastik mi yoksa elastoplastik mi¹ olarak mı davranacağı öngörülür ve iş parçasının ilk sıcaklık değeri girilir. (25 °C),

¹ Üzerine bir gerilme, kuvvet bindiğinde elastik şekilde davranarak yük kalktığında eski şekline dönen malzemeye elastoplastik, plastik deformasyona maruz kalıp eski şekline dönmeyen malzemeye plastik malzeme denir. (Kantaroğlu,1987)

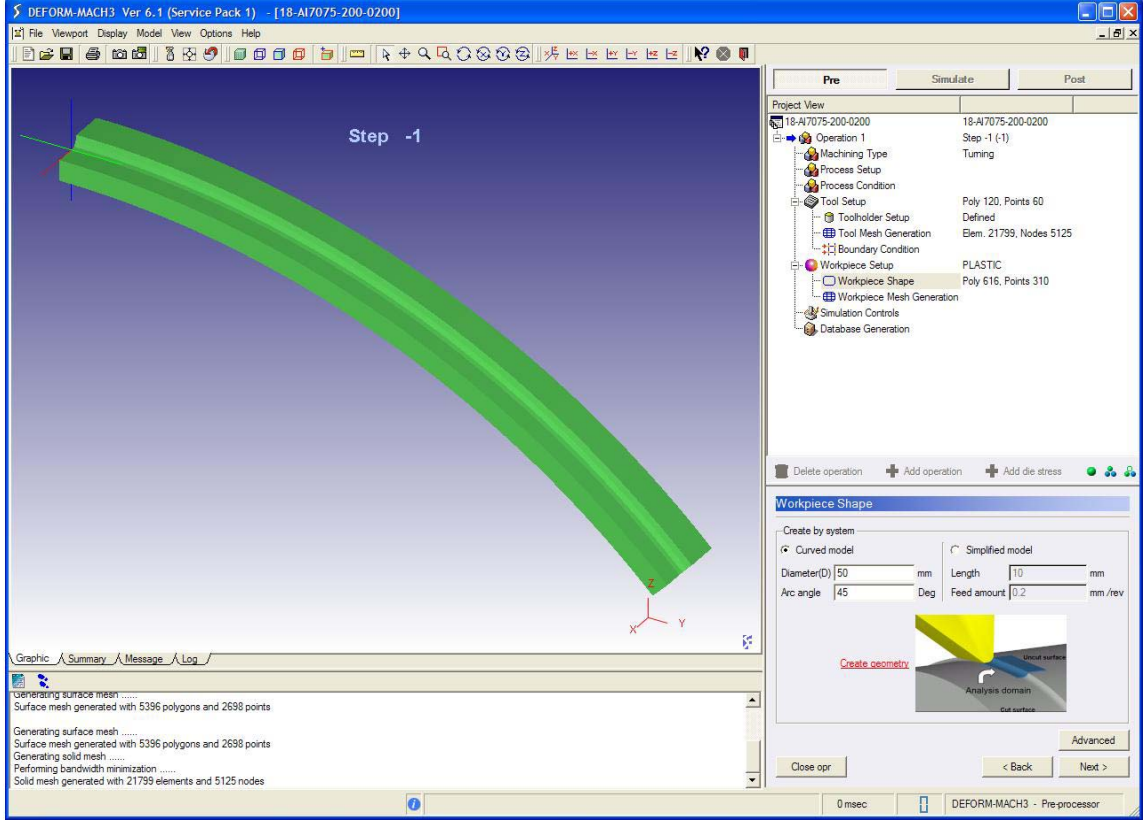


Şekil.3.7. Kesici ucun mesh'lenmesi



Şekil.3.8. İş parçası tipinin ve ilk sıcaklığının belirlenmesi

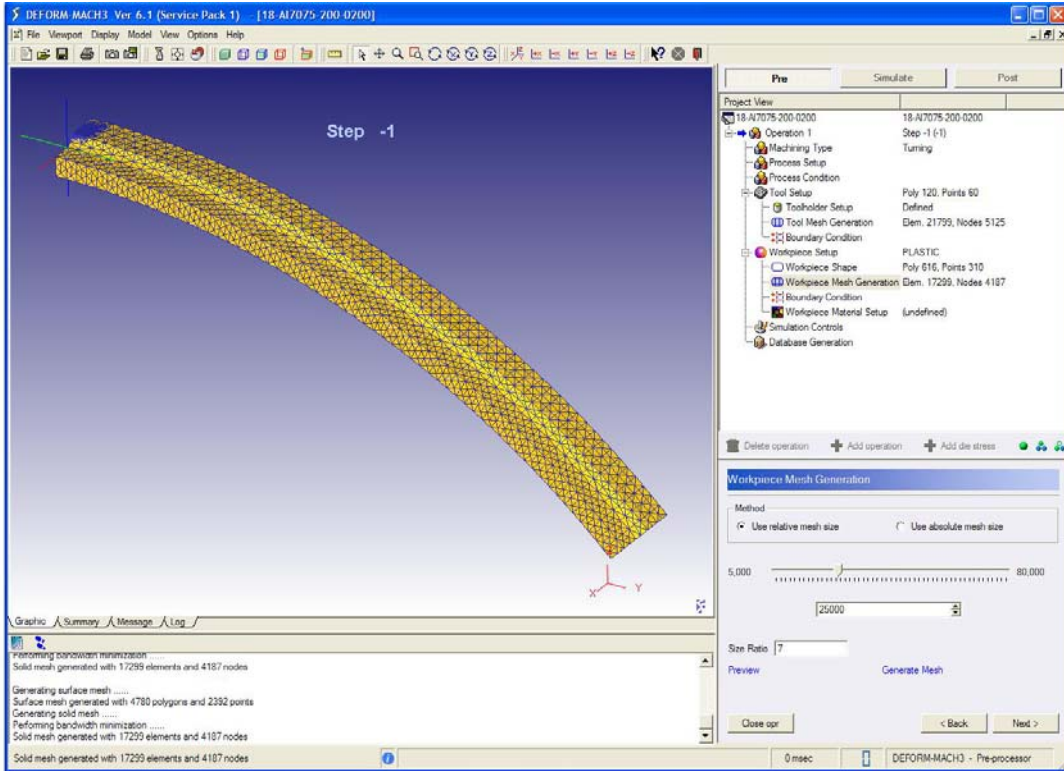
İş parçasının tipi seçildikten sonra, Workpiece Shape bölümünden bir iş parçası geometrisi oluşturulur. Dairesel veya doğrusal bir talaş kaldırılacak bölge belirlenir. Burada 50 mm çapında, 45^0 'lık daireysel bir kesit ele alınmıştır. (Şekil.3.9)



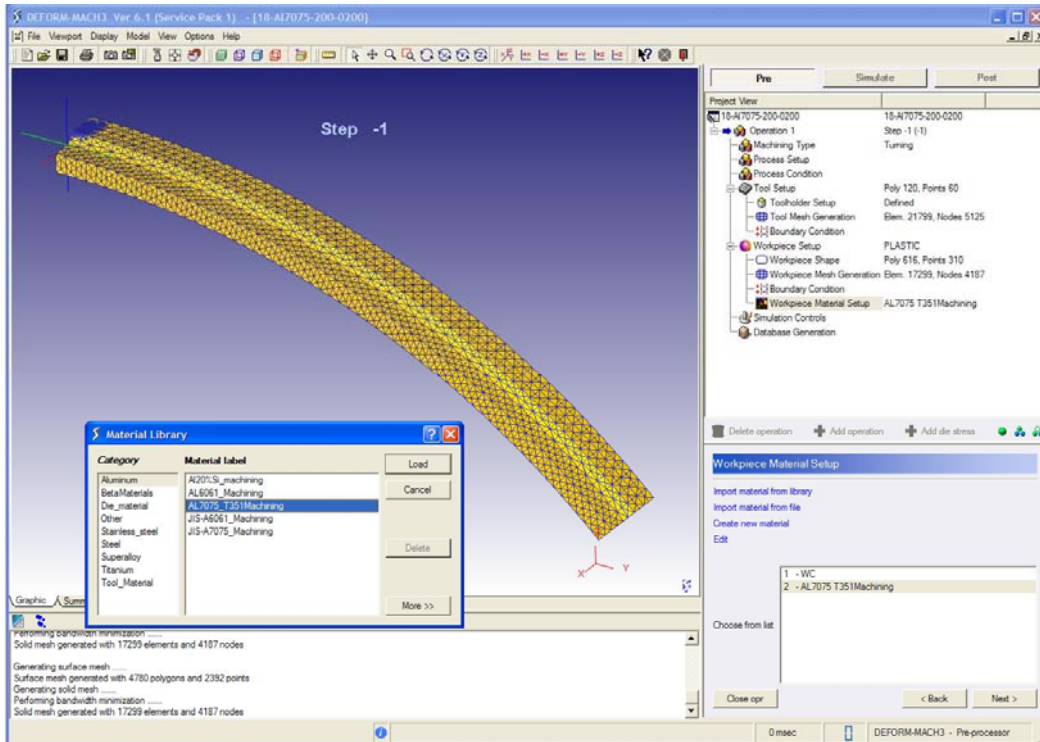
Şekil.3.9. İş parçası geometrisinin oluşturulması

Daha sonra, oluşturulan bu geometrinin “mesh” lemesi yapılır. Workpiece Mesh Generation bölümünde, yine denemeler yapılarak optimum mesh oranları belirlenir. (Şekil.3.10)

Bir sonraki adımda, iş parçasının malzemesi seçilir. “Workpiece Material Setup” bölümünde, “Import material from library” ikonundan, referans deneyde kullanılan iş parçası Al7075 olarak seçilir. Bu bölümde istenilen malzeme, kütüphanede yoksa, mekanik, ısıl özellikleri girilerek oluşturulabilir. (Şekil.3.11)

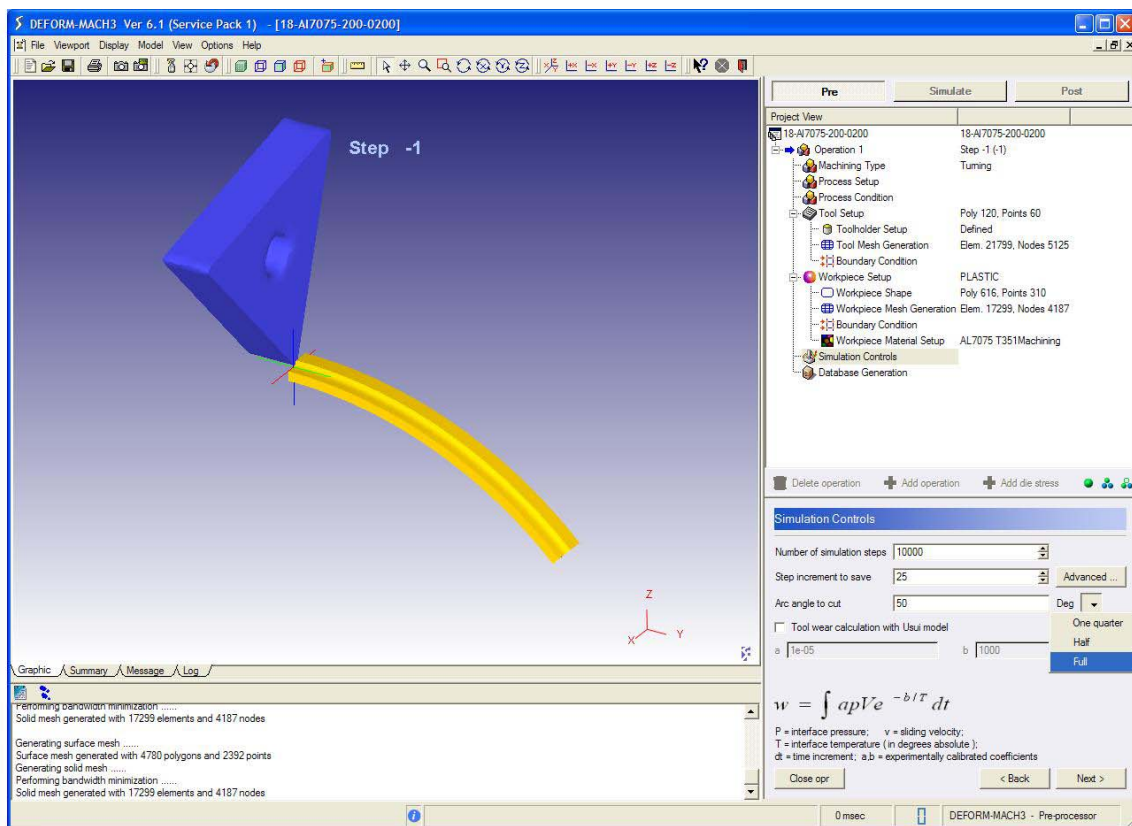


Şekil.3.10. İş parçasının meshlenmesi



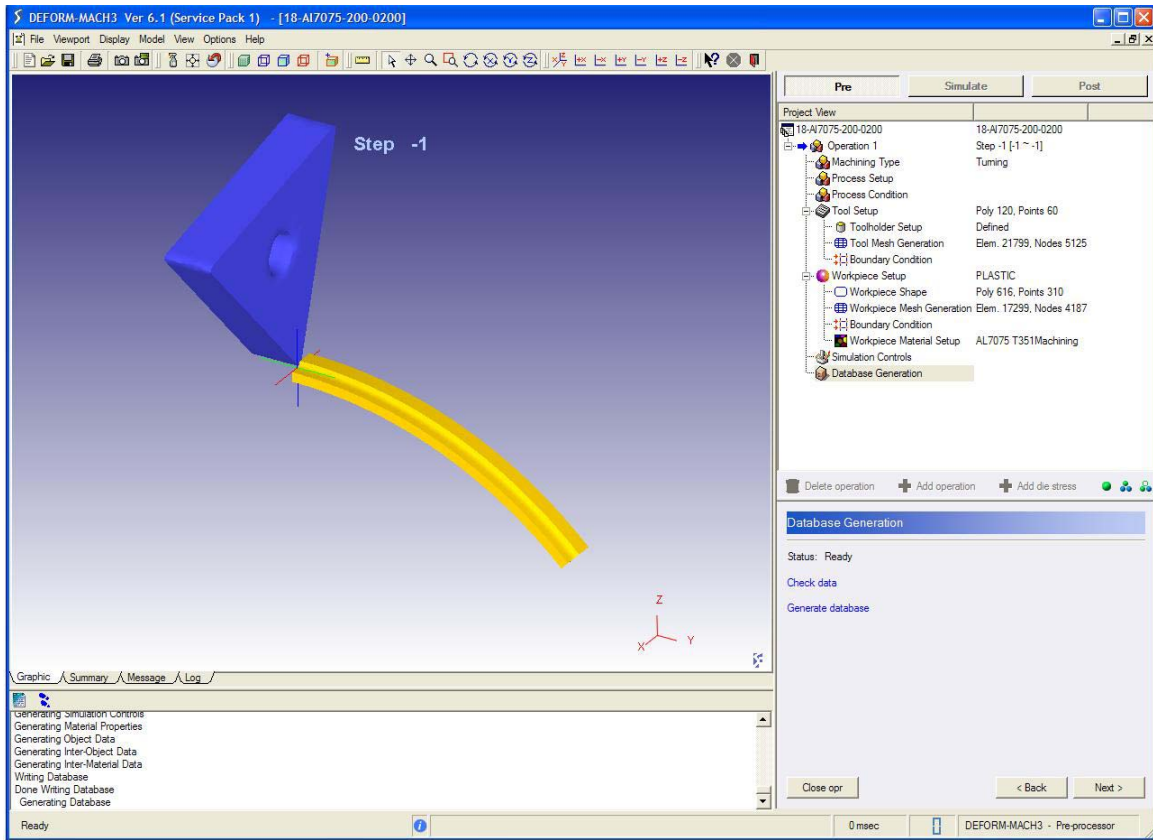
Şekil.3.11. İş parçası için malzeme seçimi

Tüm kesici uç, takım tutucu, iş parçası, bunların geometrileri, malzemeleri, meshlemeleri, proses koşulları tanımlandıktan sonra simülasyon kontrollerine geçilir. Burada sağlıklı sonuçlar alabilmek için simülasyon adım sayısını 5000 ile üzeri bir değerde almak gerekir. Ayrıca burada iş parçasının kaç derecelik kısmının işlenmesinin analiz edileceği de belirlenebilir. Burada tamamının analiz edilmesi seçilmiştir. (Şekil.3.12) Ayrıca “Simulation Controls” bölümünde, “Advanced” kısmında analiz hesaplaması için daha detaylı kriterler de seçilebilir.



Şekil.3.12. Simülasyon kontrollerinin yapılıması

Tüm bu işlemlerden sonra, problemin veritabanı geliştirilir. Bunun öncelikle, dataların kontrol edilmesi için “Database Generation” bölümünde “Check Data” ikonuna tıklanır. Eğer bir problem varsa, bu konuda bir ikaz belirir, geri dönülüp ilgili yerde düzeltmeler yapılır. Herhangi bir problem yoksa “Generate Database” ikonu ile problemin tanımlanması bitirilir. (Şekil.3.13)

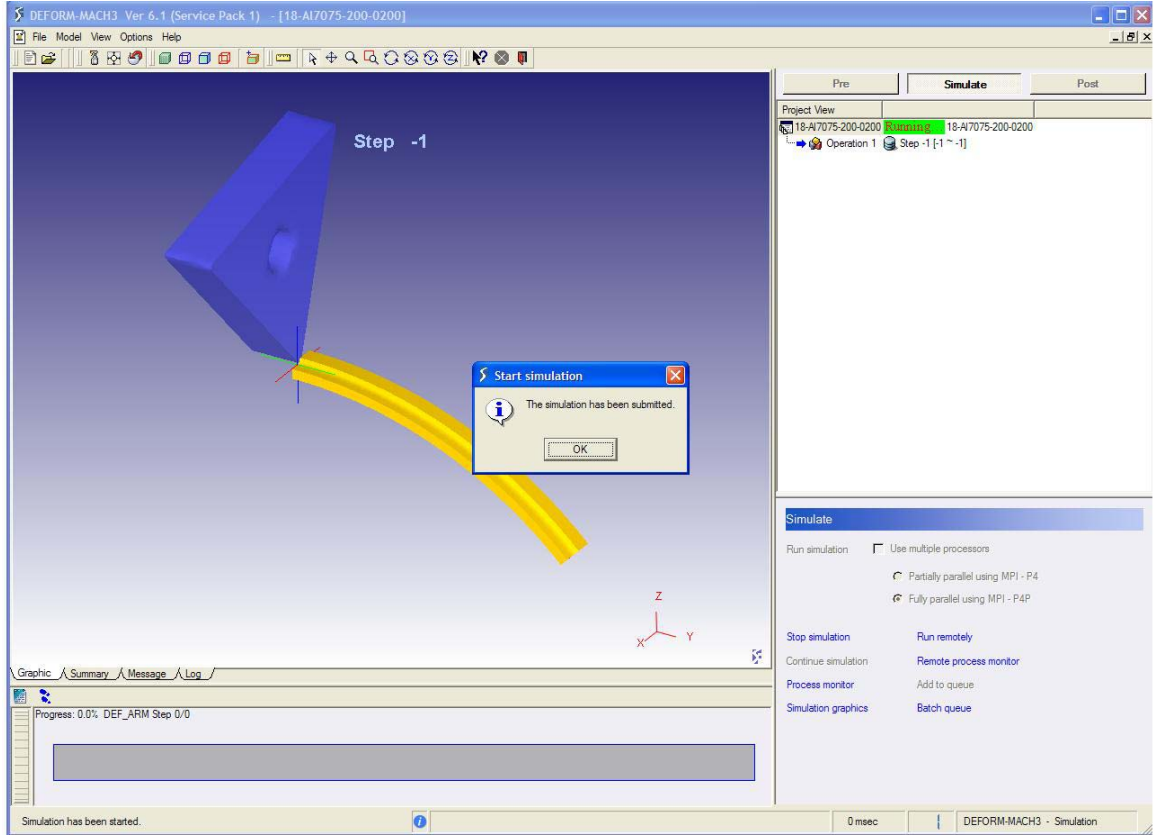


Şekil.3.13. Problemin veritabanını kontrolü ve tamamlanması

3.3. Deform Programı İle Tanımlanan Problemin Çözdürülmesi

Tüm verileri girilen problemin çözdürülmesi de, problemin tanıtılması kadar kolaydır. “Preprocessor” penceresinden, “Simulate” penceresine geçilir. Hesaplamaları başlatmak için “Run Simulation” ikonuna tıklanır. Eğer birden fazla bilgisayar ile aynı anda çözüm yaptırılmak istenirse “Run Remotely” komutu ile ağ üzerinden diğer bilgisayarlarla etkileşim sağlanır. Ayrıca herhangi bir şekilde analize ara verilmesi gerekiyorsa (bilgisayarın kapatılması vb. sebepler) “Stop Simulation” ikonuna tıklanarak kapatılması gerekir. Aksi takdirde, analizde hatalı işlemler söz konusu olabilir. Bunlara ilave olarak, Deform programı, herhangi bir meshleme hatası söz konusu olduğunda kendisi otomatik olarak “Remeshing” yapabilme özelliğine sahiptir. Bu da tekrar tekrar meshleme yapılması probleminin önüne geçmiştir. (Şekil.3.14)

Bu çalışmada, hesaplamalar, Pentium(R) D CPU 3.40 Ghz işlemci, 2.00 GB Ram olan bilgisayarda, 16 deney için deney başına ortalama 19 saat ile 23 saatlik bir zaman dilimi arasında tamamlanmıştır.

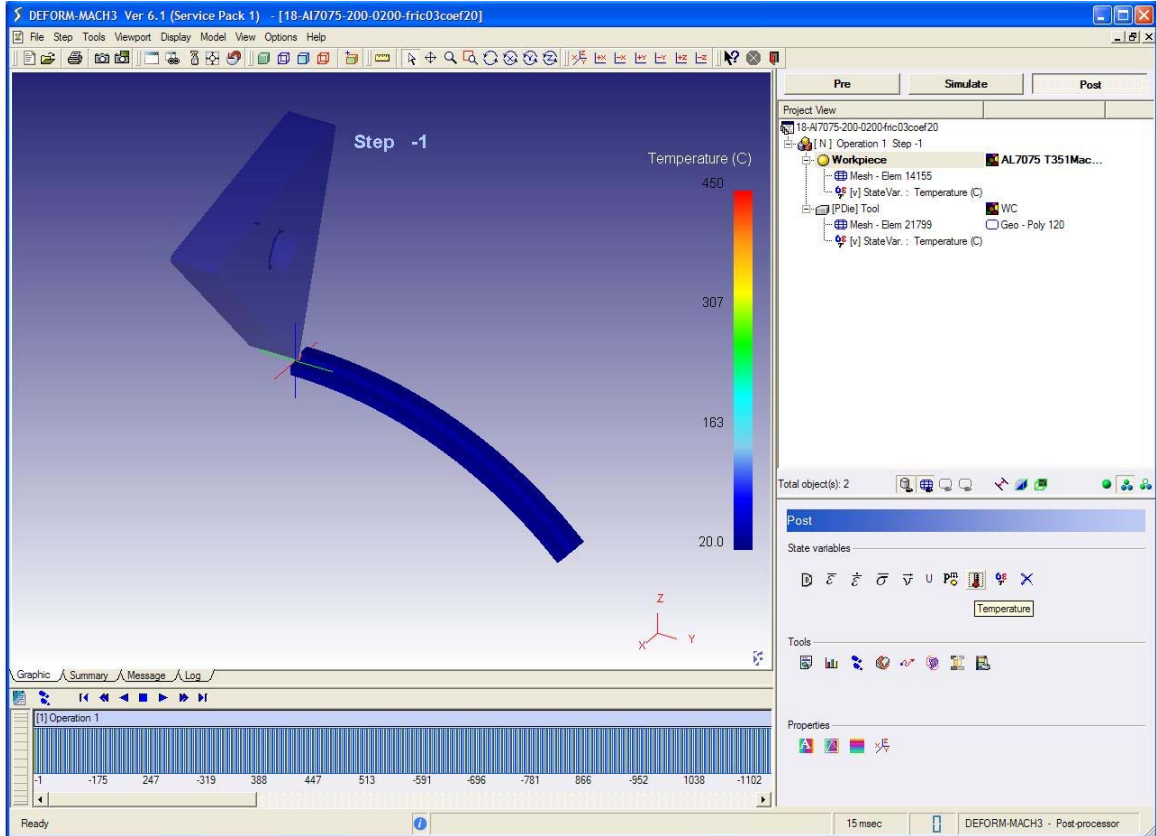


Şekil.3.14. Problemin hesaplanması

3.4. Deform Programı İle Analiz Sonuçlarının Görüntülenmesi

Hesaplamaları biten analizin sonuçlarını görüntülemek için, “Post Processor” penceresi açılır. Deform, bu pencerede oldukça geniş bir sonuç yelpazesi sunar. Deformasyon, efektif basınç, efektif basınç oranı, efektif gerilme, toplam hız, toplam deplasman ve sıcaklık parametreleri üzerinden birçok sonucu ortaya koyar. Bu çalışmada sadece sıcaklık değişimi üzerinde durulmuştur.

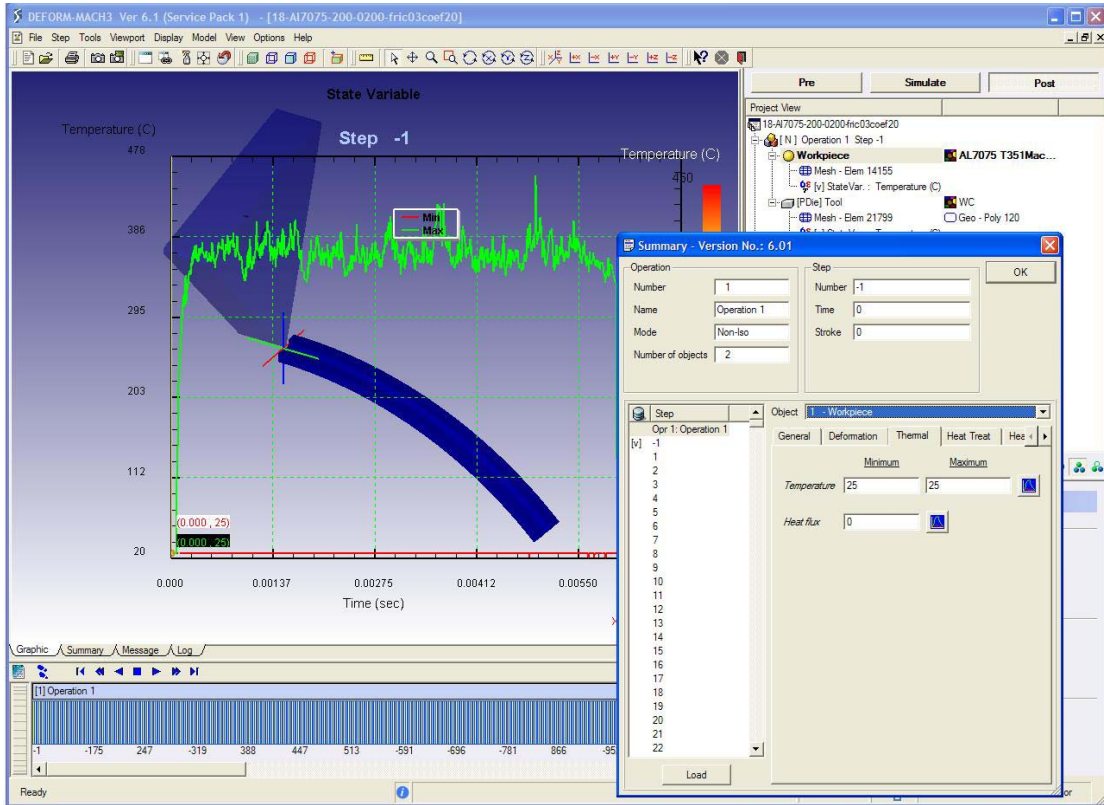
Hem kesici uç hem de iş parçası için sıcaklık değişim tabloları elde edilebilmektedir. İş parçası üzerindeki anlık sıcaklık değişimi sonuçları görüntülemek için öncelikle sıcaklık skalasını görüntülenir. Bu, “Post” bölümünde “State Variables” kısmından “Temperature” ikonu tıklanarak yapılır. (Şekil.3.15.)



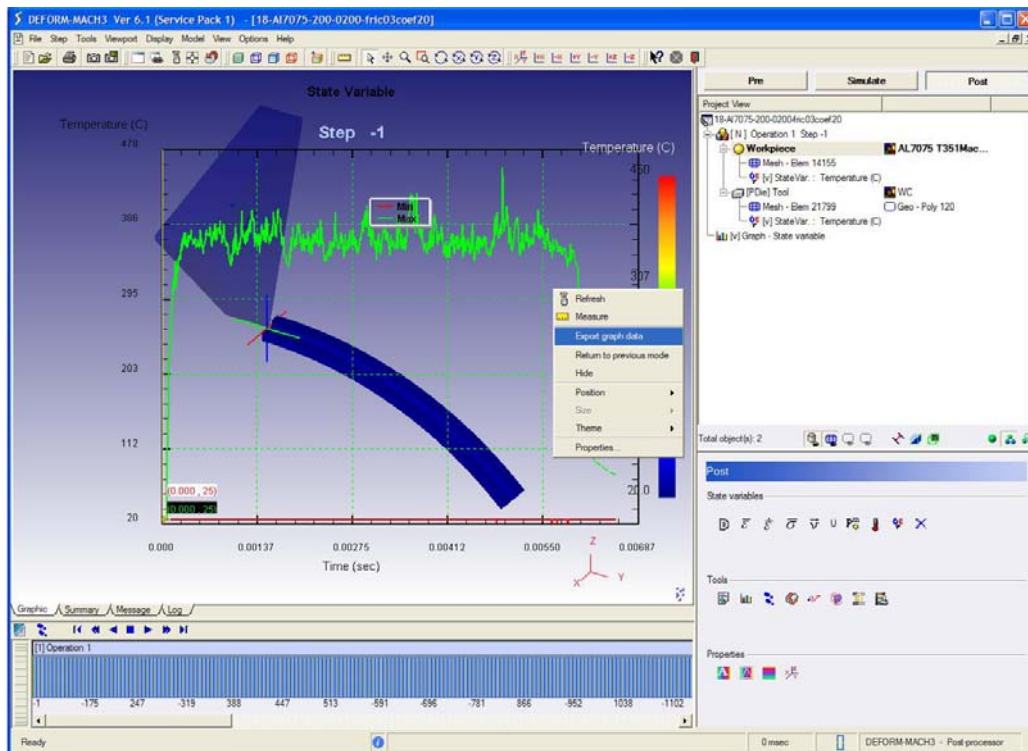
Şekil.3.15. Sıcaklık renk skalasının gösterimi

Daha sonra, grafiği oluşturmak için “Tools” kısmında “Summary” sayfası açılır. Burada “Object” olarak “Work piece” seçilir. Bir sonraki adım, “Thermal” alt başlığında grafik resmi üzerine tıklanır. Bu şekilde ekranda takımın iş parçasını işlemesi esnasında iş parçası üzerinde oluşan anlık sıcaklıkları gösterir. Aynı işlemler “Object” olarak “Tool” seçildiğinde, kesici uç için yapılmış olacaktır. (Şekil.3.16) Sıcaklık datalarını, Excel gibi farklı arayüzlere aktarabilmek için grafik üzerinde sağ tıklandığında açılan pencerede “Export graph data” ikonu ile istenilen yola “.txt” uzantılı olacak şekilde aktarım yapılabilir. (Şekil.3.17) Simülasyona hareket vermek ve

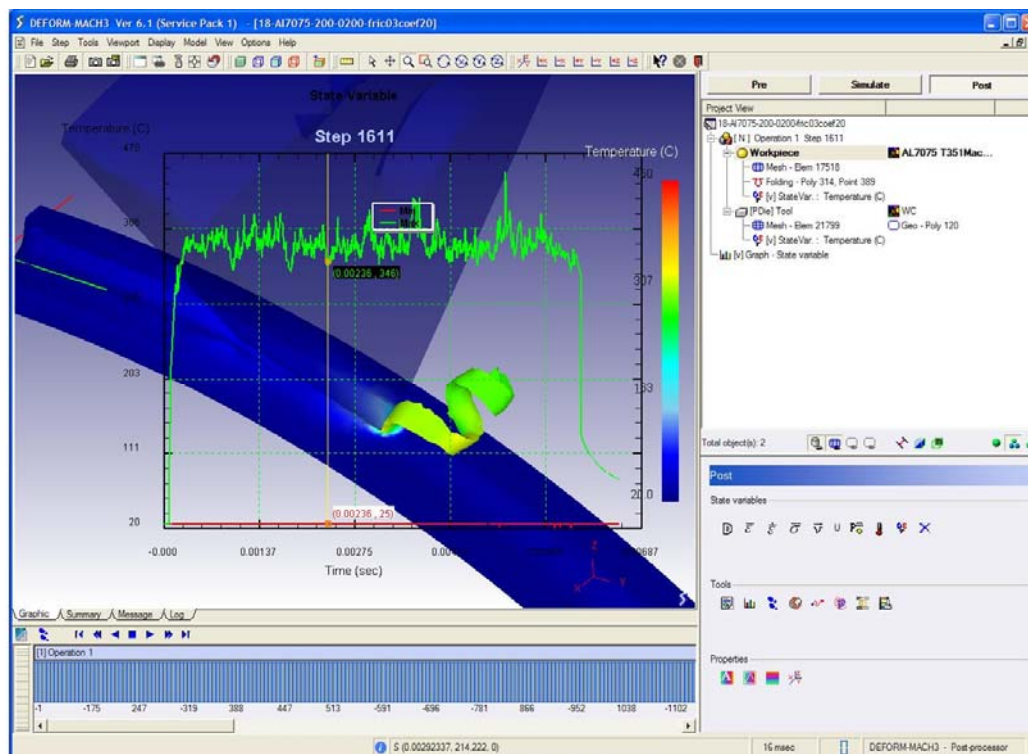
talaş formunun oluşumunu izlemek için “Play” tuşu kullanılır. grafik üzerinde herhangi bir noktaya tıklandığında kesici ucun iş parçası üzerinde bulunduğu konuma, anlık sıcaklığa ve talaş formuna ulaşılır. (Şekil.3.18)



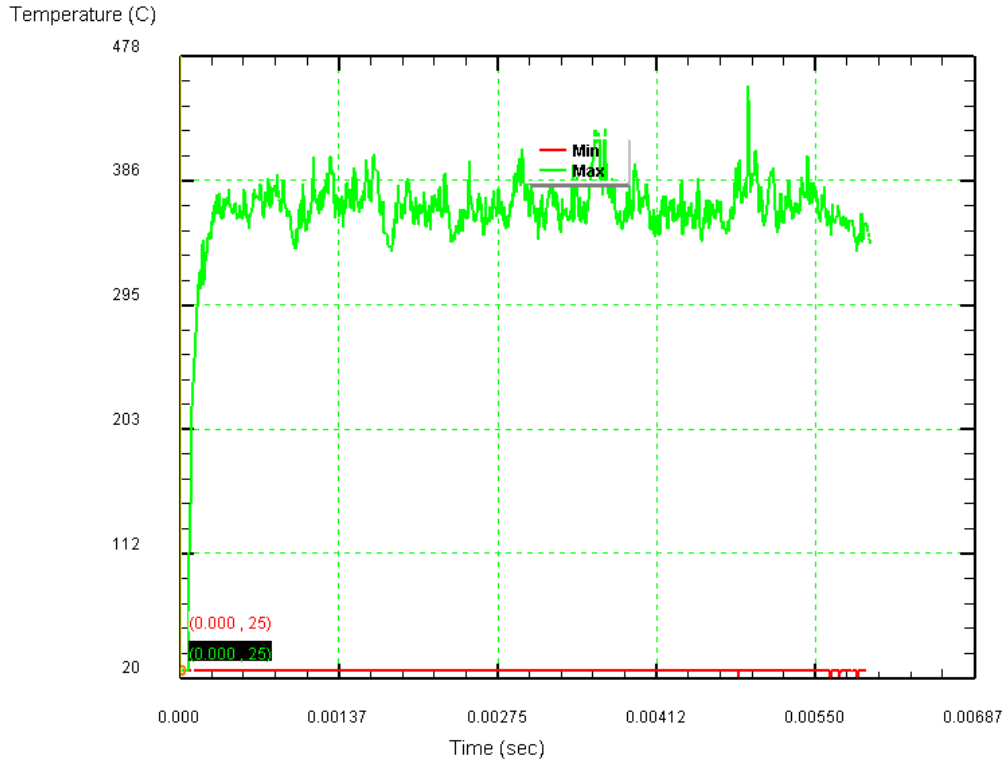
Şekil.3.16. İş parçası üzerindeki anlık sıcaklık değişim grafiğinin elde edilmesi



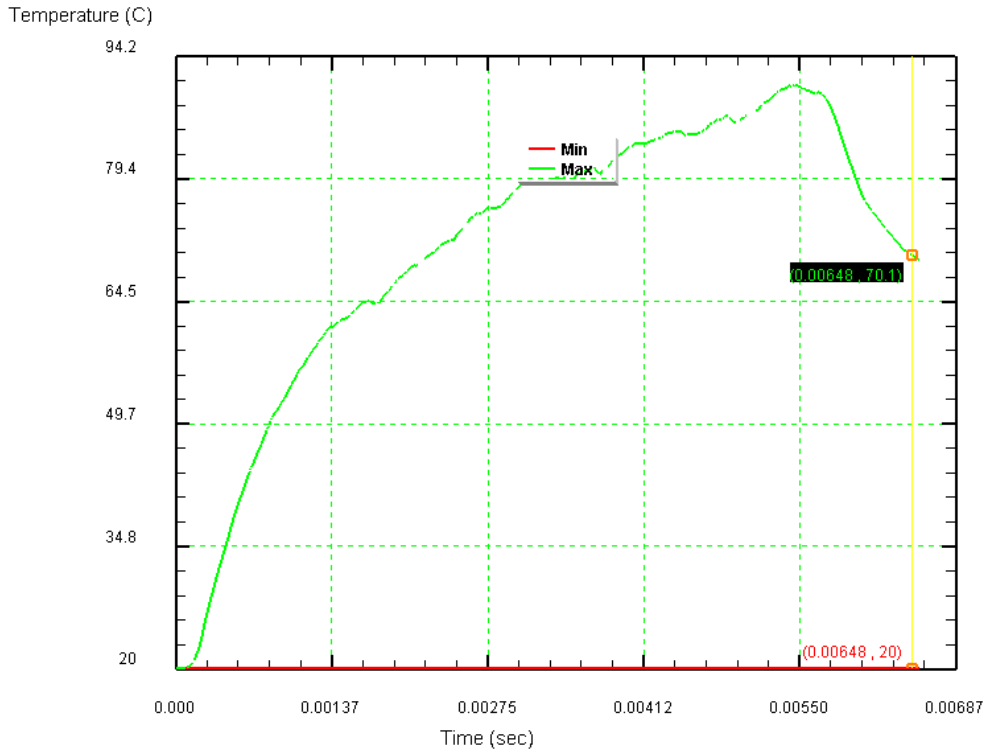
Şekil.3.17. Sıcaklık datalarının aktarımı



Şekil.3.18. Herhangi bir noktadaki talaş ilerlemesi



Şekil.3.19. İş parçası üzerindeki sıcaklık grafiği



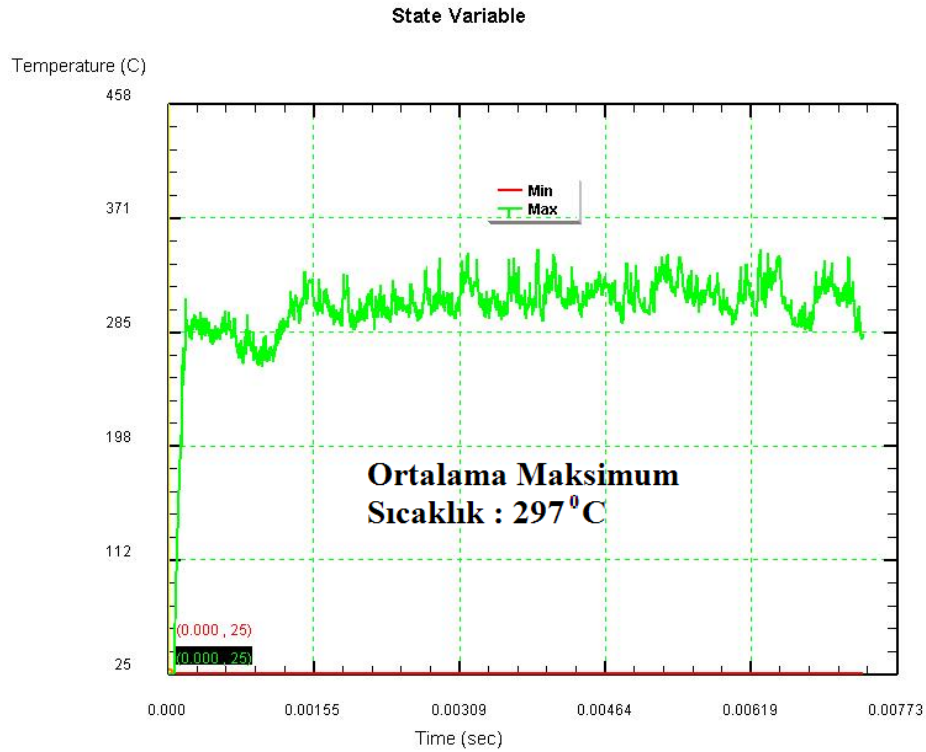
Şekil.3.20. Kesici uç üzerindeki sıcaklık grafiği

3.5. Referans Deney Verilerine Göre Yapılan Analizler

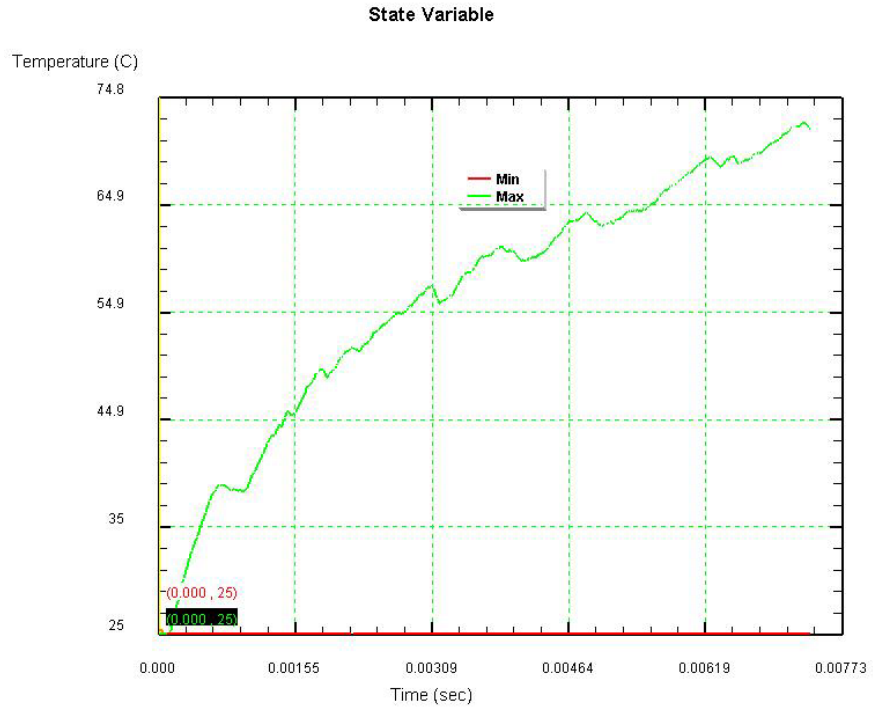
Al7075 iş parçasının aşağıdaki tabloda verilen kesme parametrelerine göre işlenmesi analizleri yapılmıştır. (Çizelge.3.1) Sonuçlar, iş parçası ve kesici uç için grafikler halinde verilmiştir.

Çizelge.3.1. Kesme parametreleri

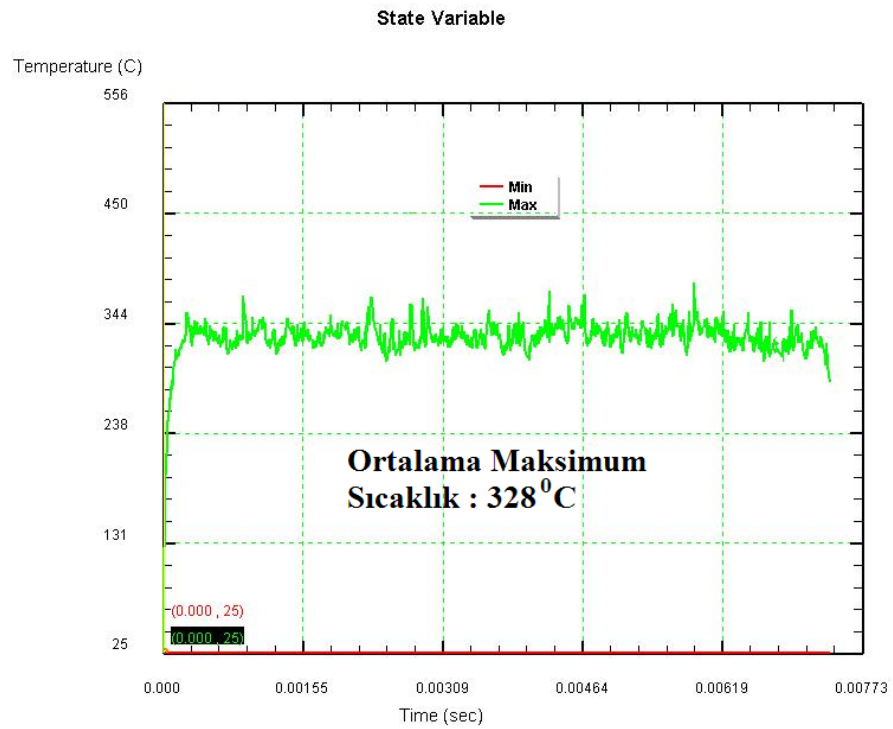
Referans Deneye Göre Yapılan Analizlerdeki Kesme Parametreleri				
İş Parçası Malzemesi	Takım Kesme Açısı (derece)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Test Sayısı
Al 7075	6 ve 18	160, 200	0.050, 0.100, 0.150, 0.200	16



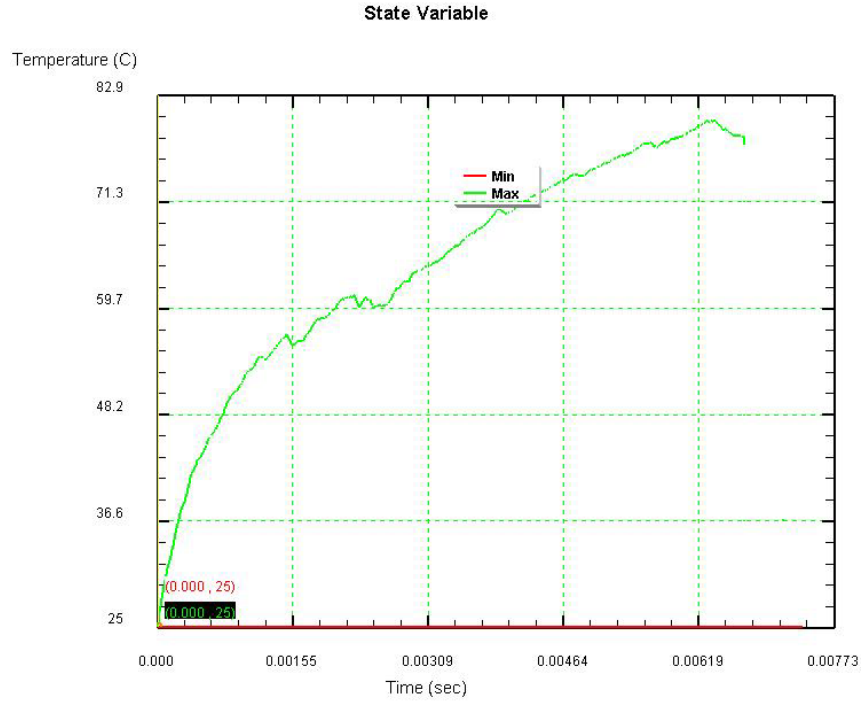
Şekil.3.21. 6⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 297⁰C



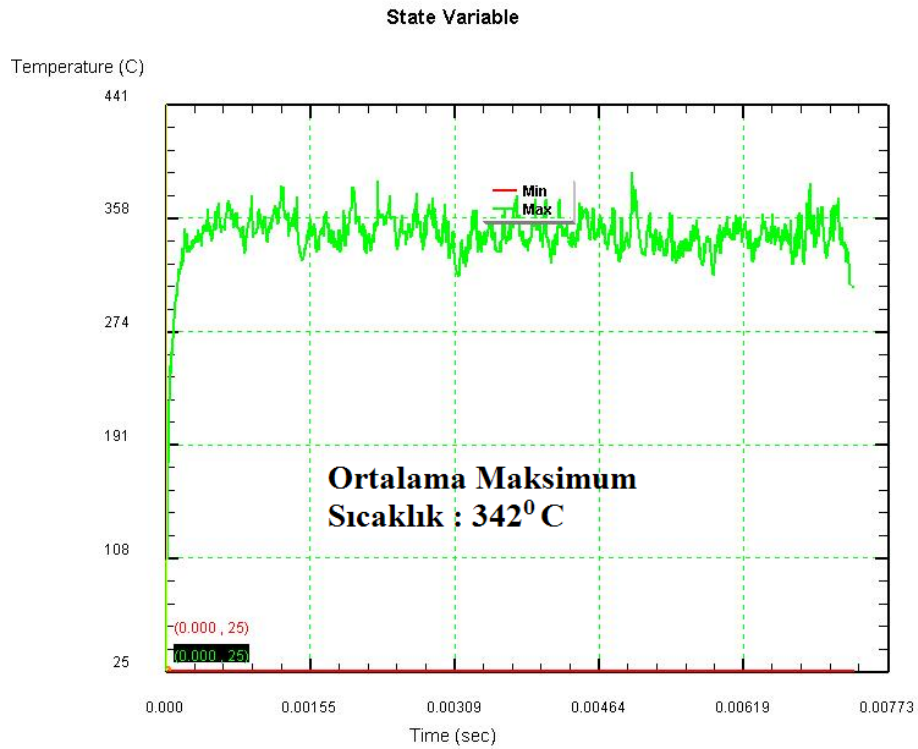
Şekil.3.22. 6⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



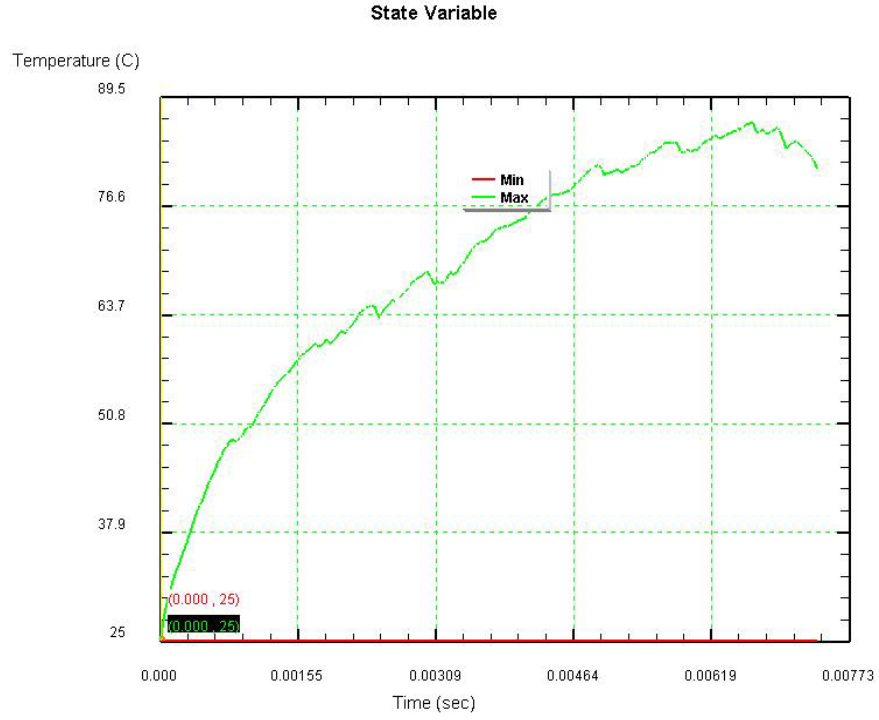
Şekil.3.23. 6⁰ derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 328⁰C



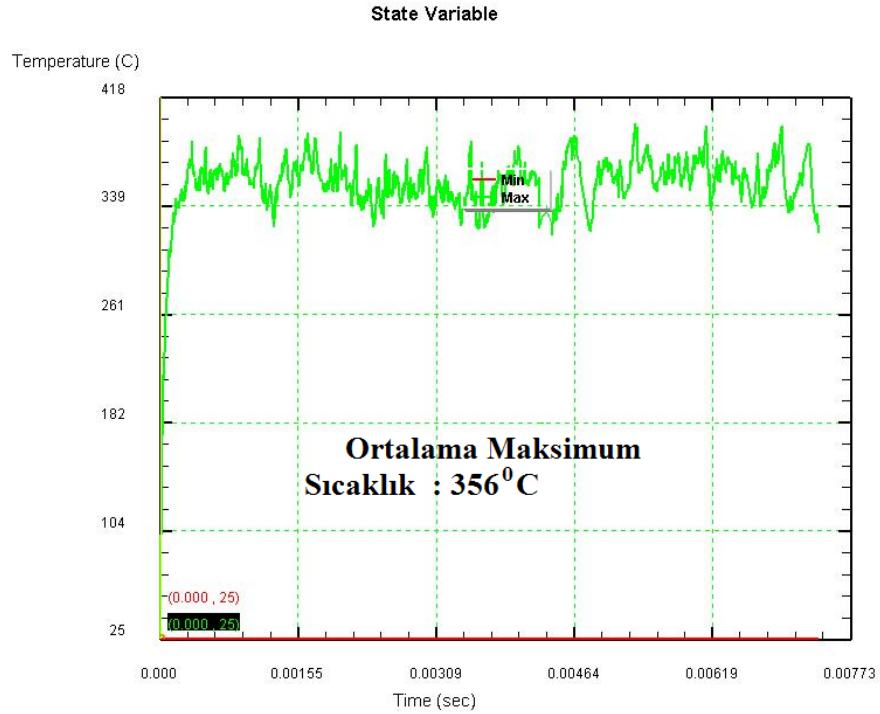
Şekil.3.24. 6° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



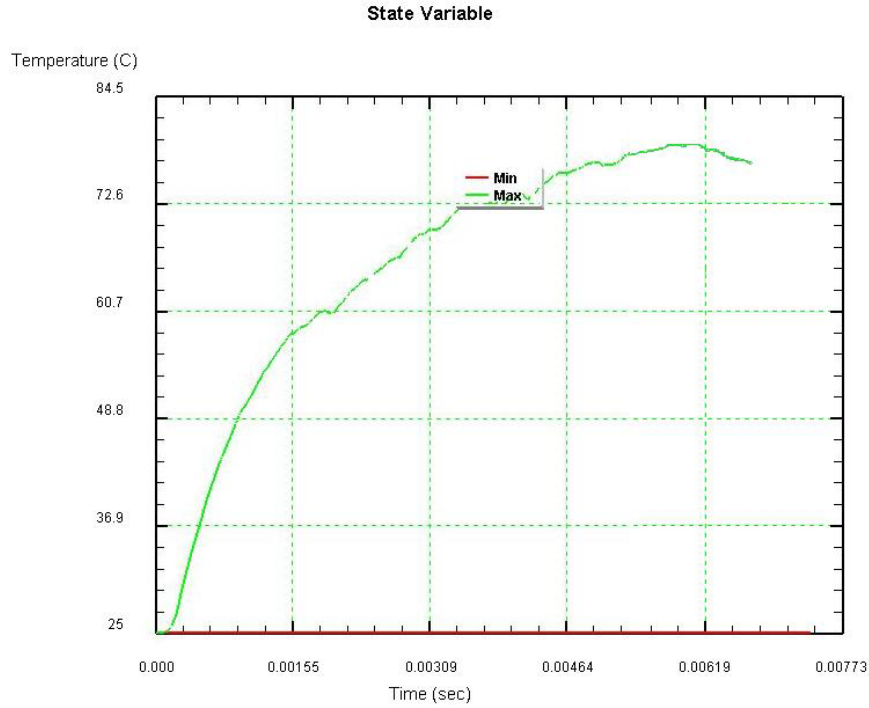
Şekil.3.25. 6° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 342°C



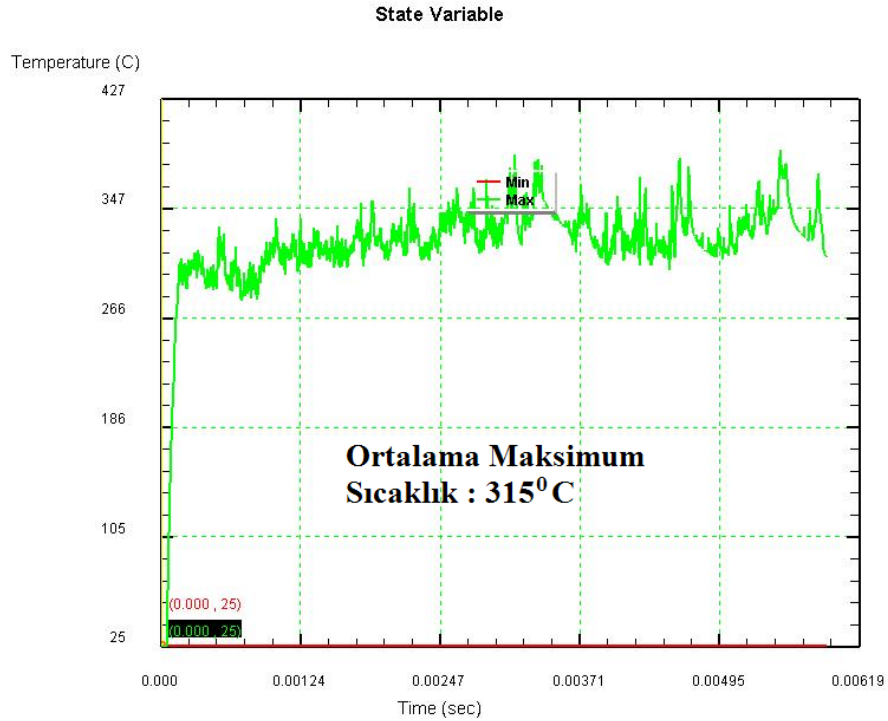
Şekil.3.26. 6° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



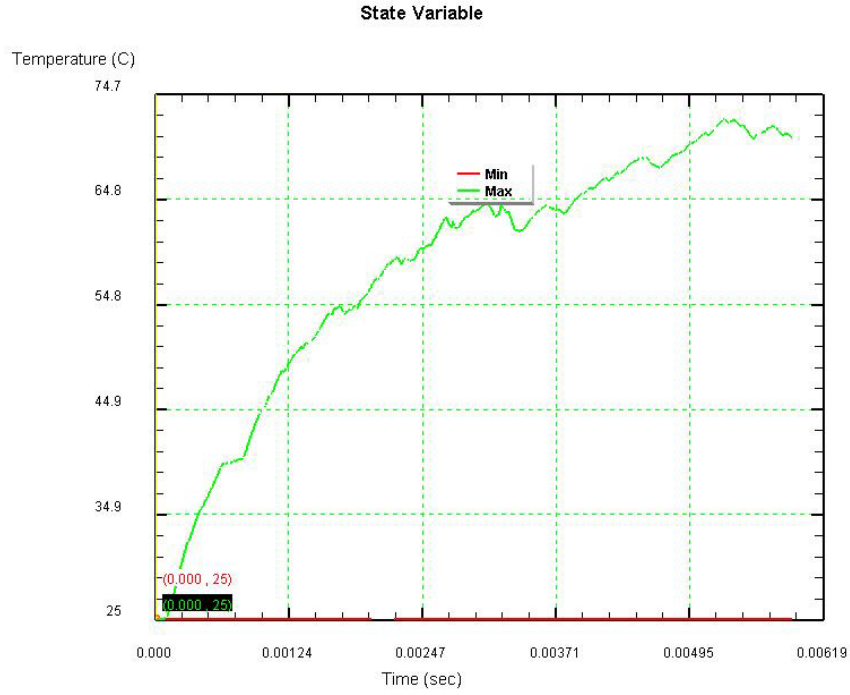
Şekil.3.27. 6° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 356⁰C



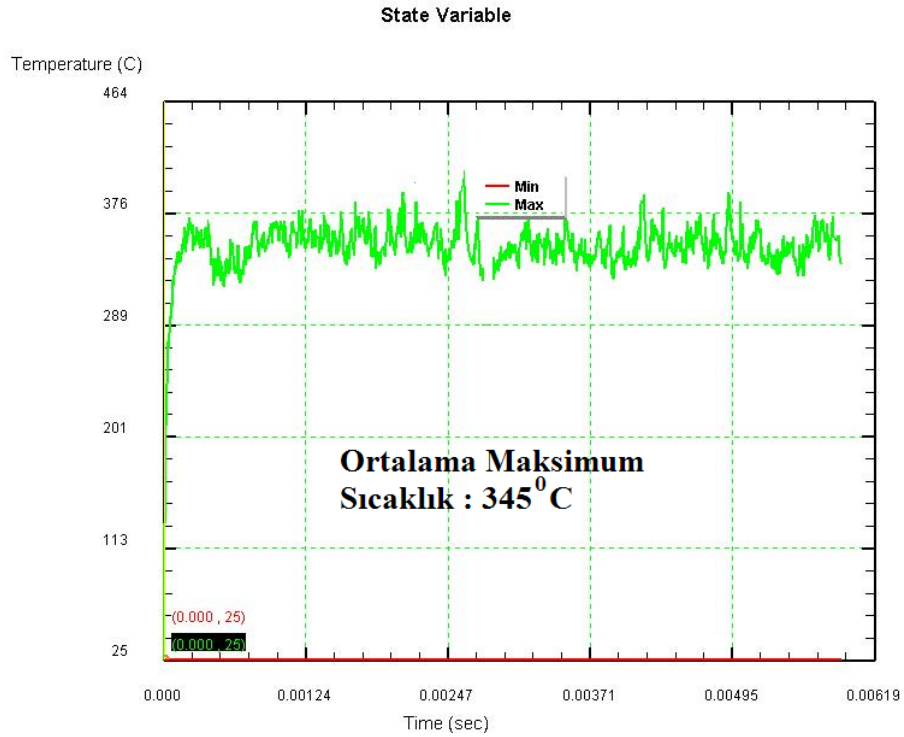
Şekil.3.28. 6° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



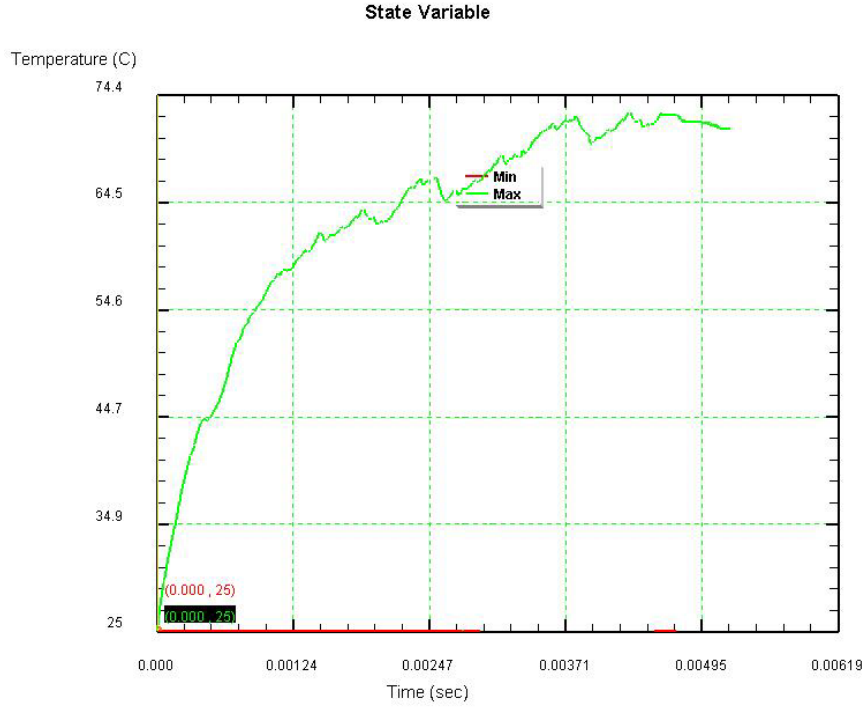
Şekil.3.29. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 315°C



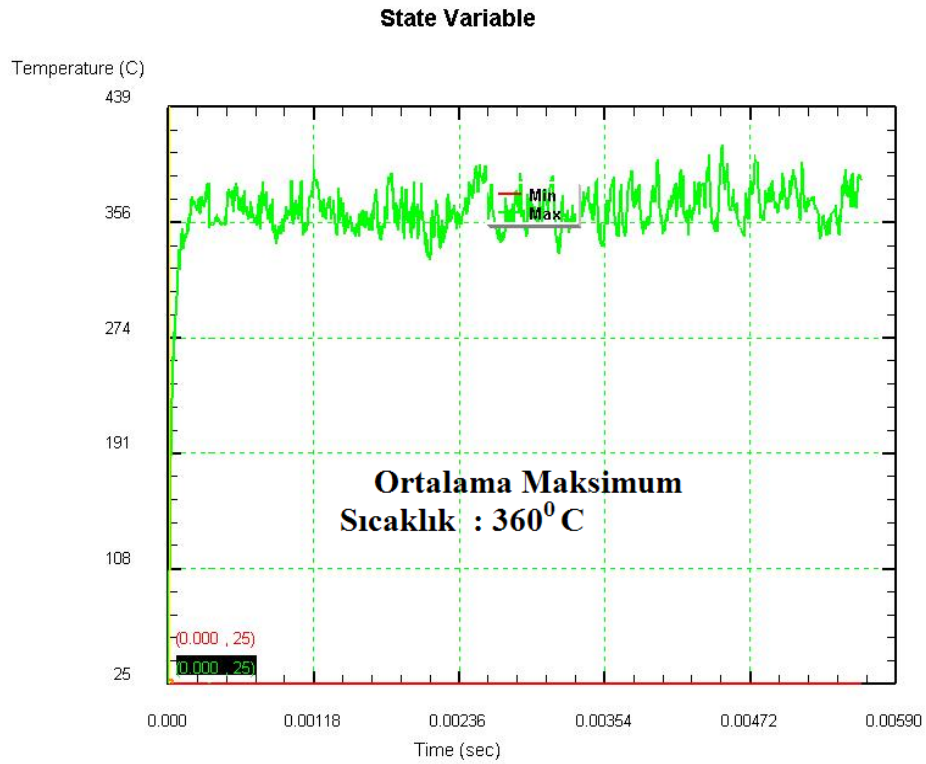
Şekil.3.30. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



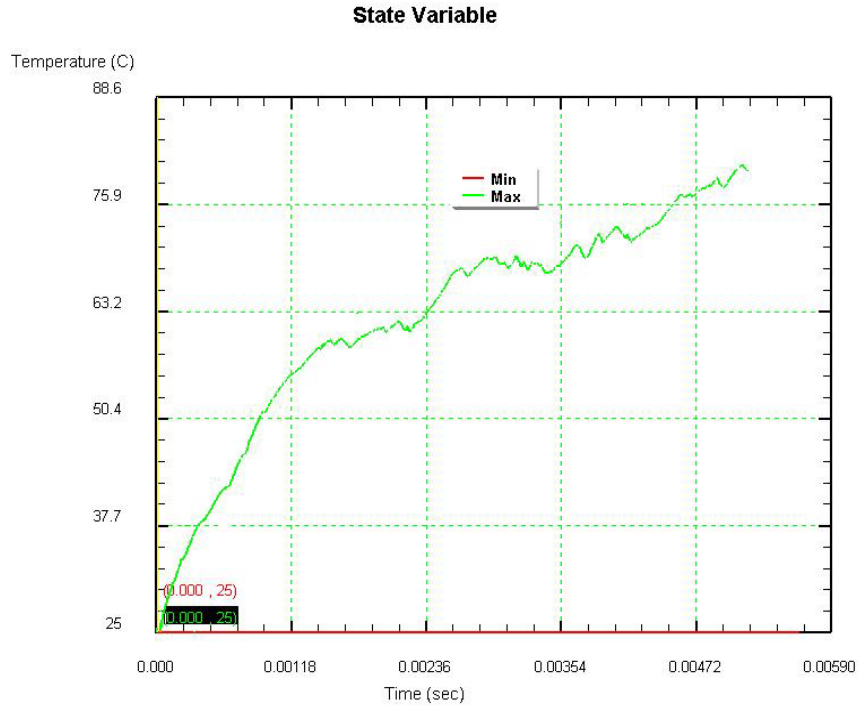
Şekil.3.31. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 345⁰C



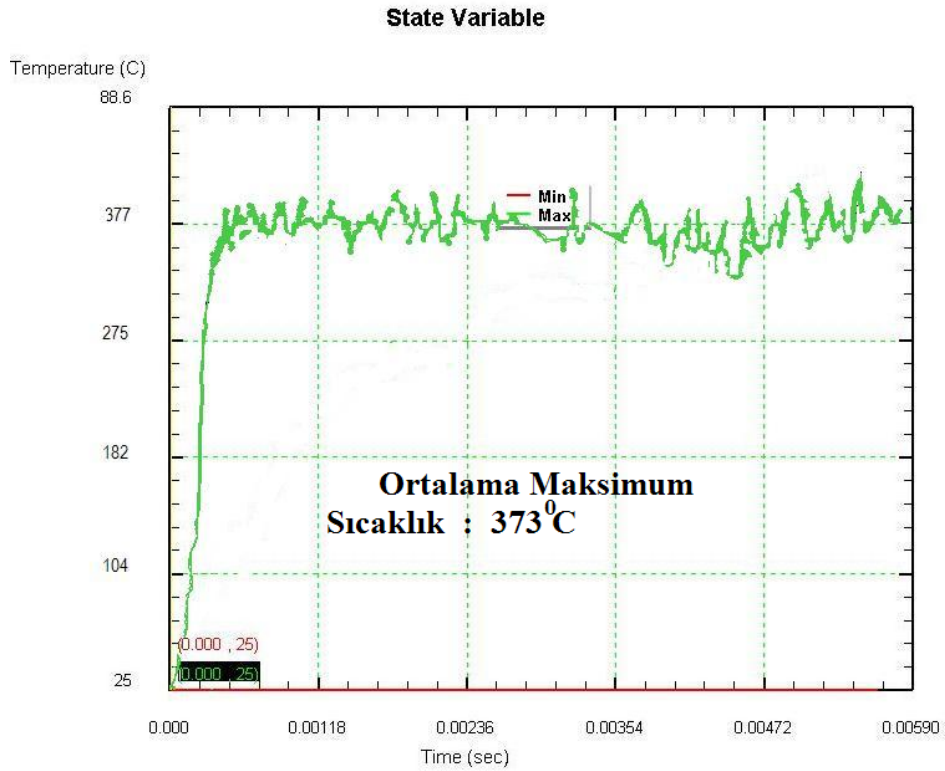
Şekil.3.32. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



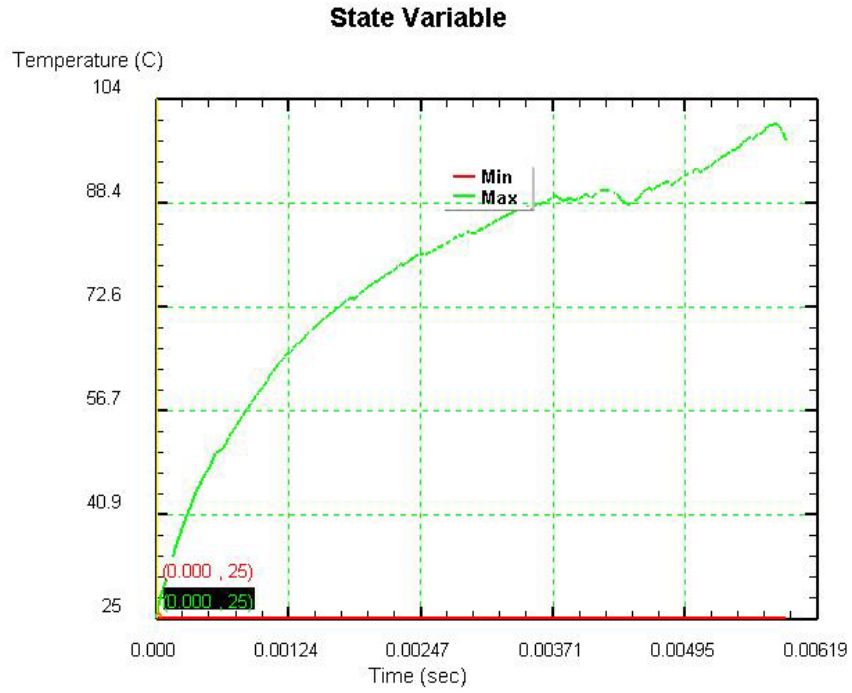
Şekil.3.33. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 360°C



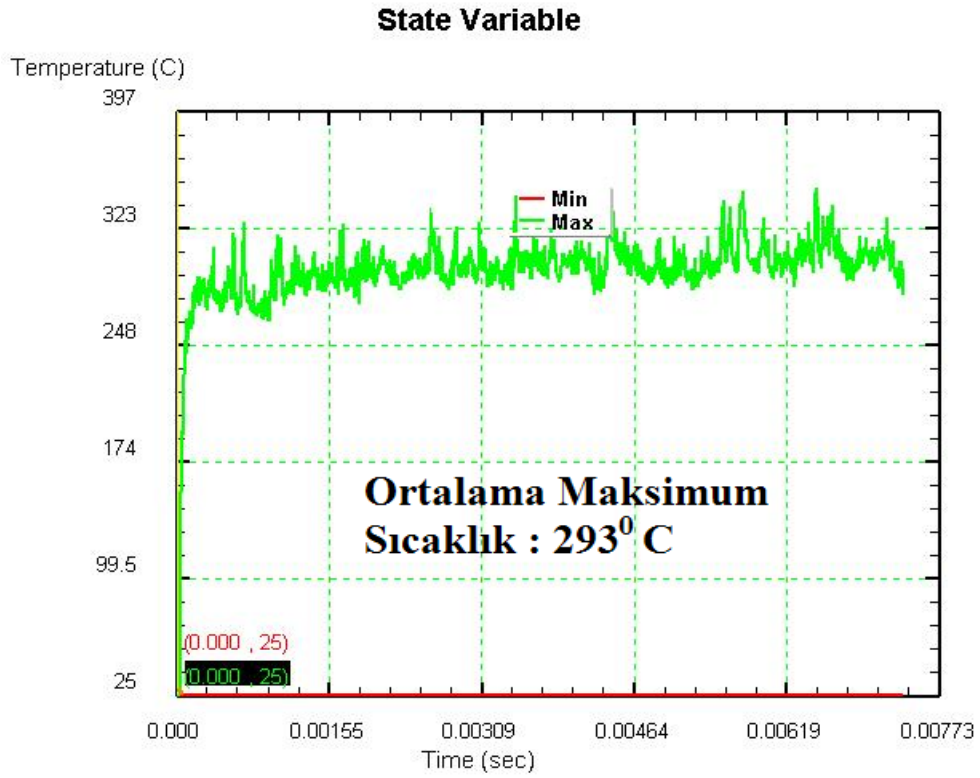
Şekil.3.34. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



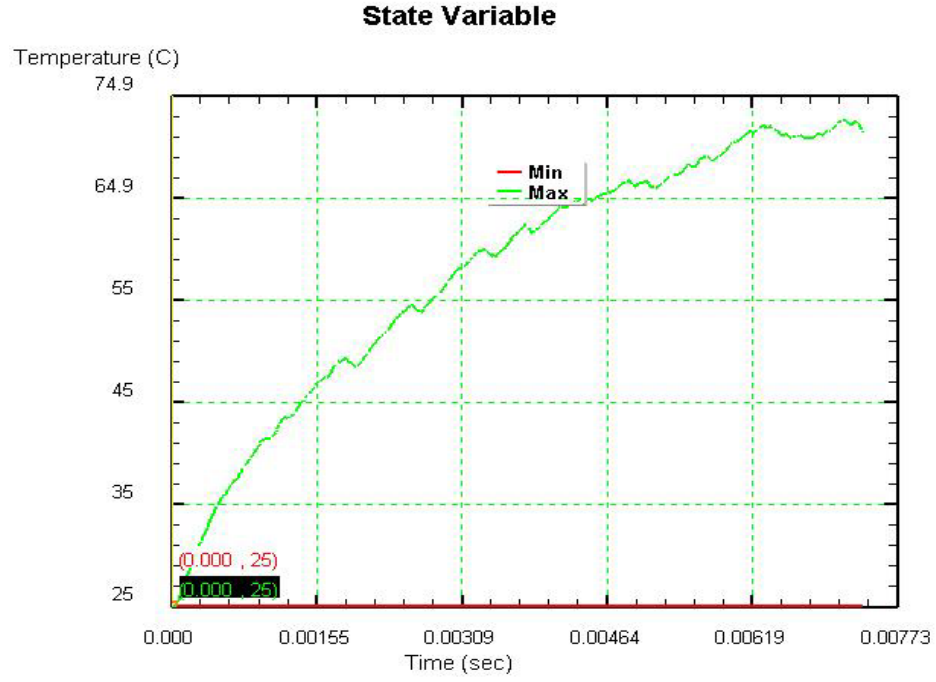
Şekil.3.35. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 373°C



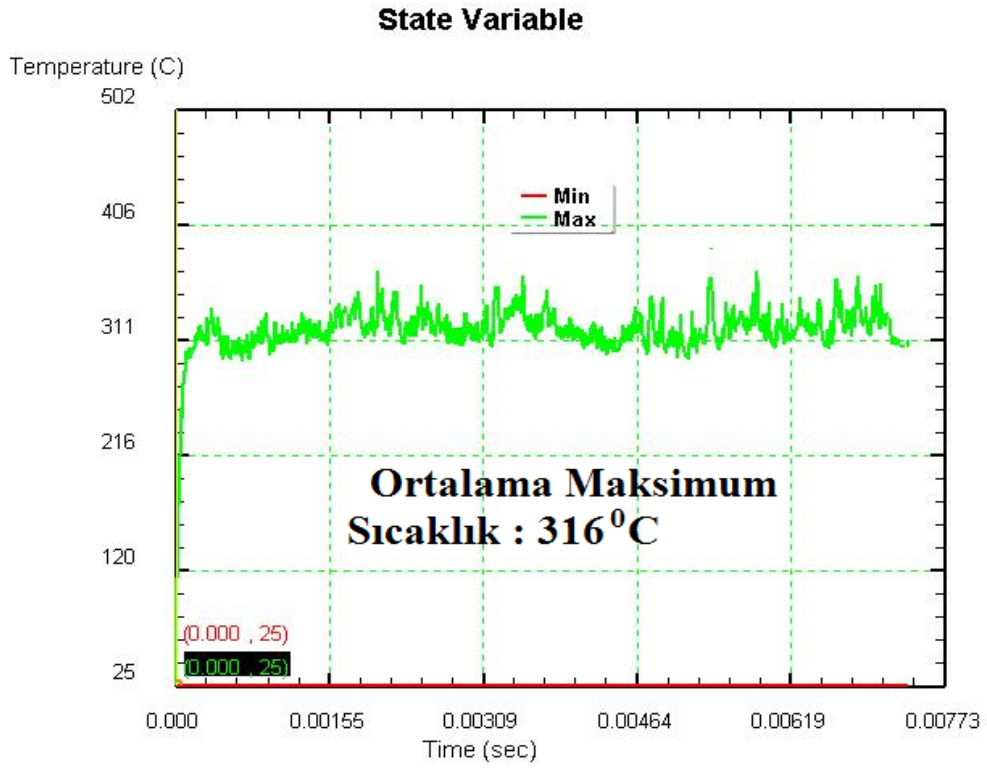
Şekil.3.36. 6° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



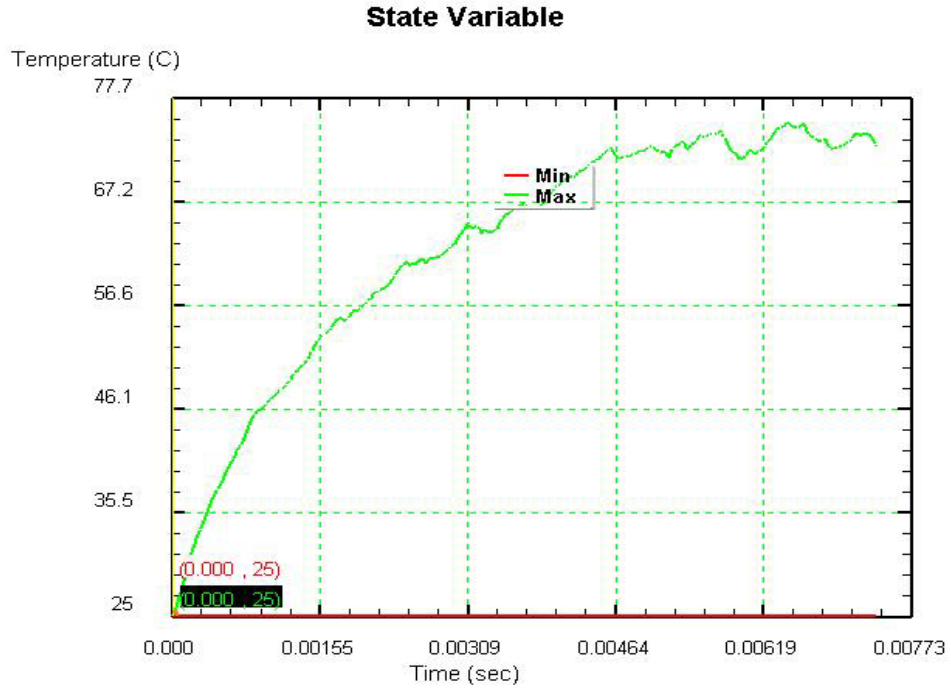
Şekil.3.37. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 293⁰C



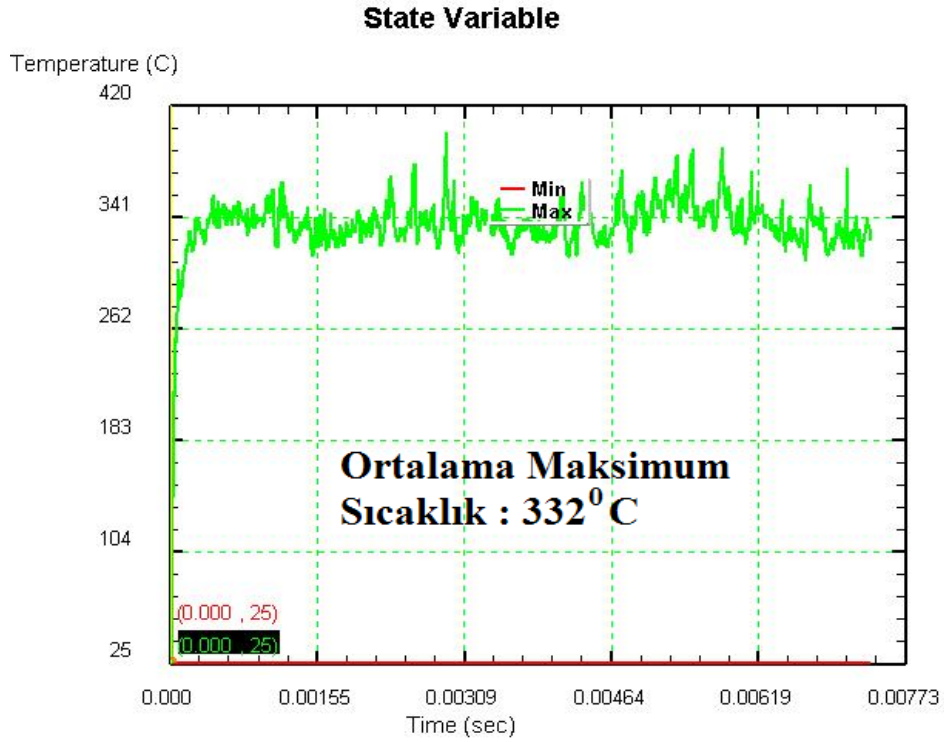
Şekil.3.38. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



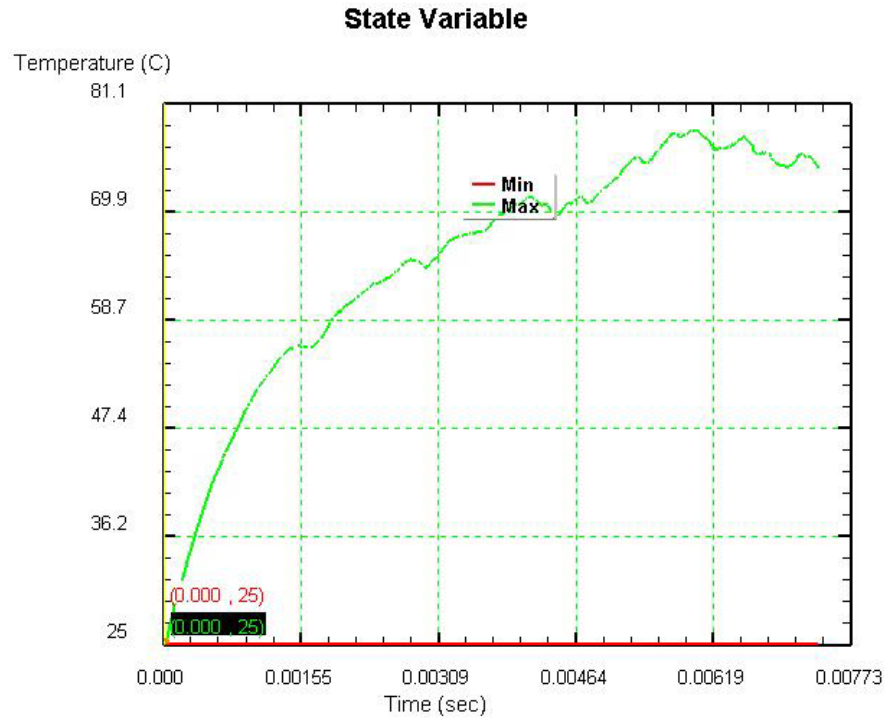
Şekil.3.39. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 316⁰C



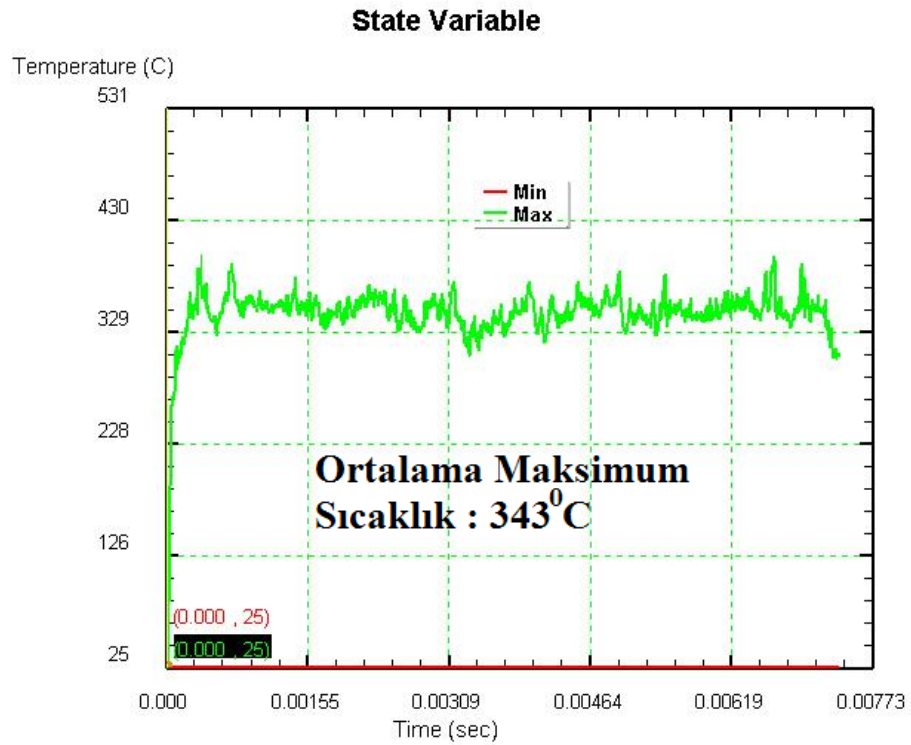
Şekil.3.40. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



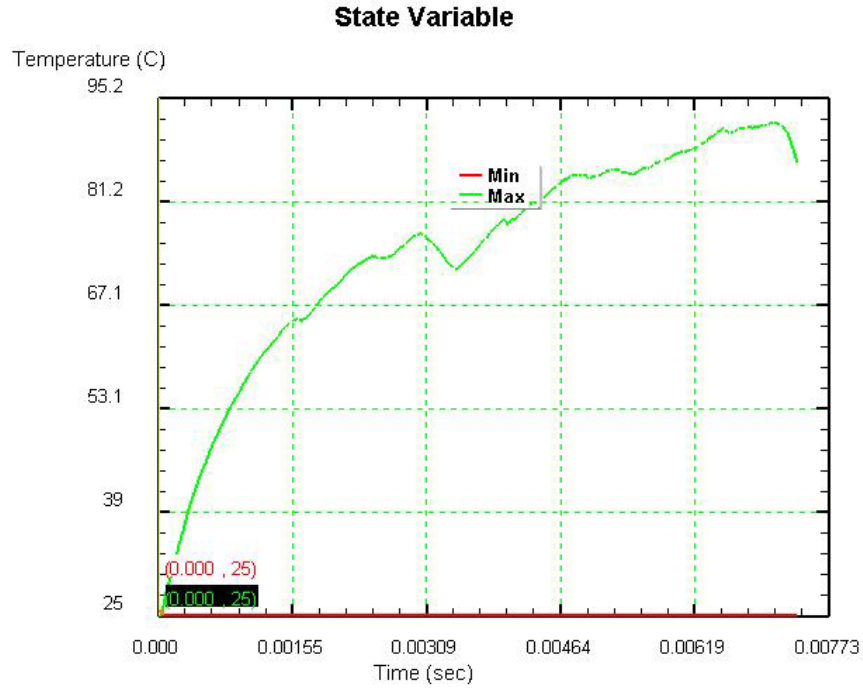
Şekil.3.41. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 332⁰C



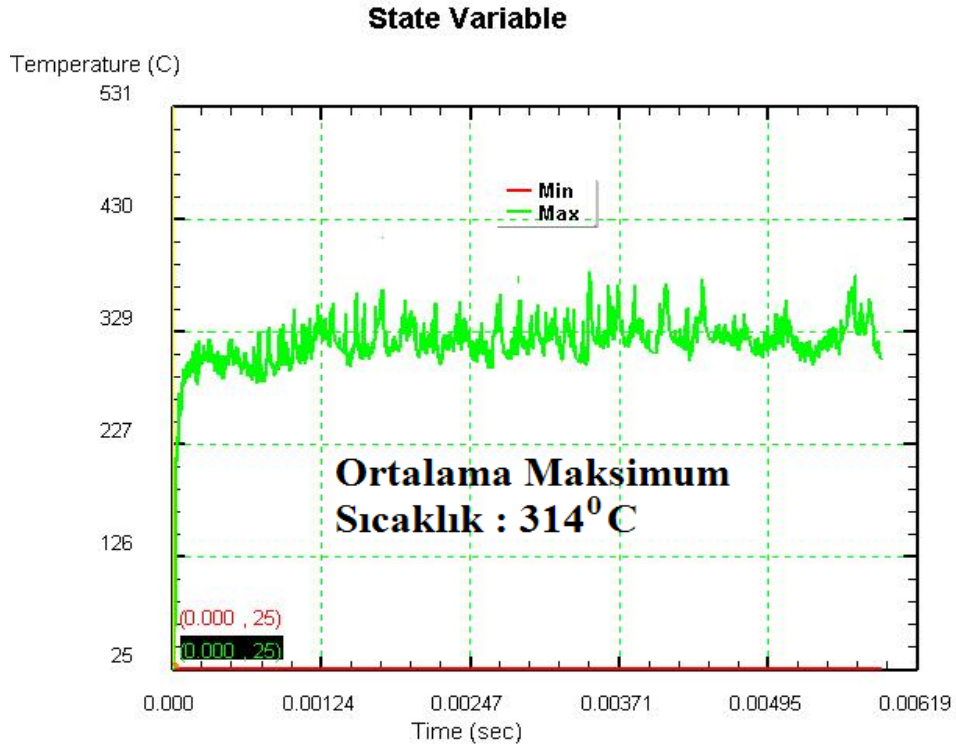
Şekil.3.42. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



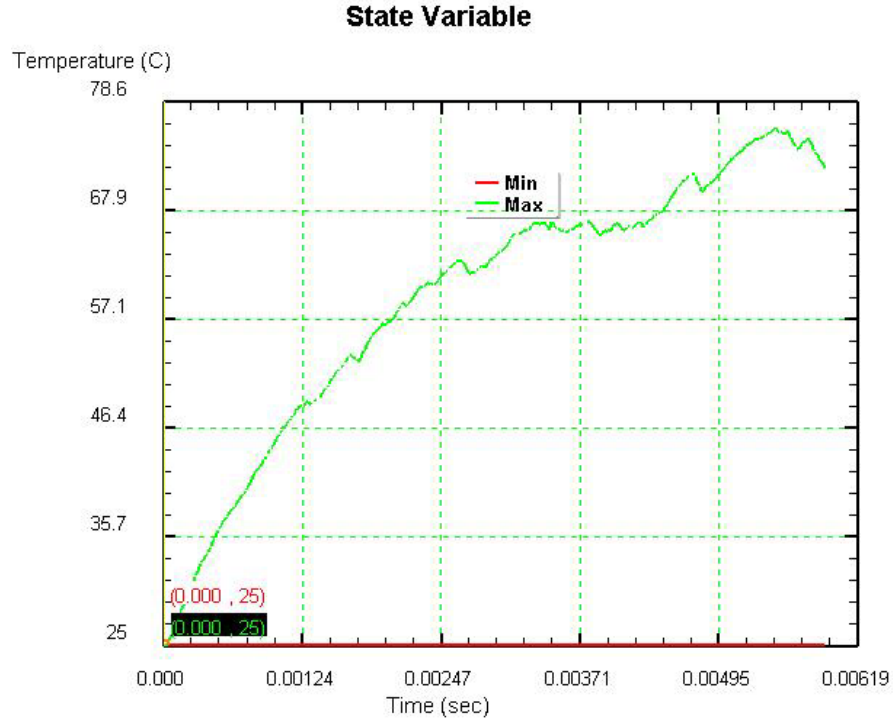
Şekil.3.43. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 343°C



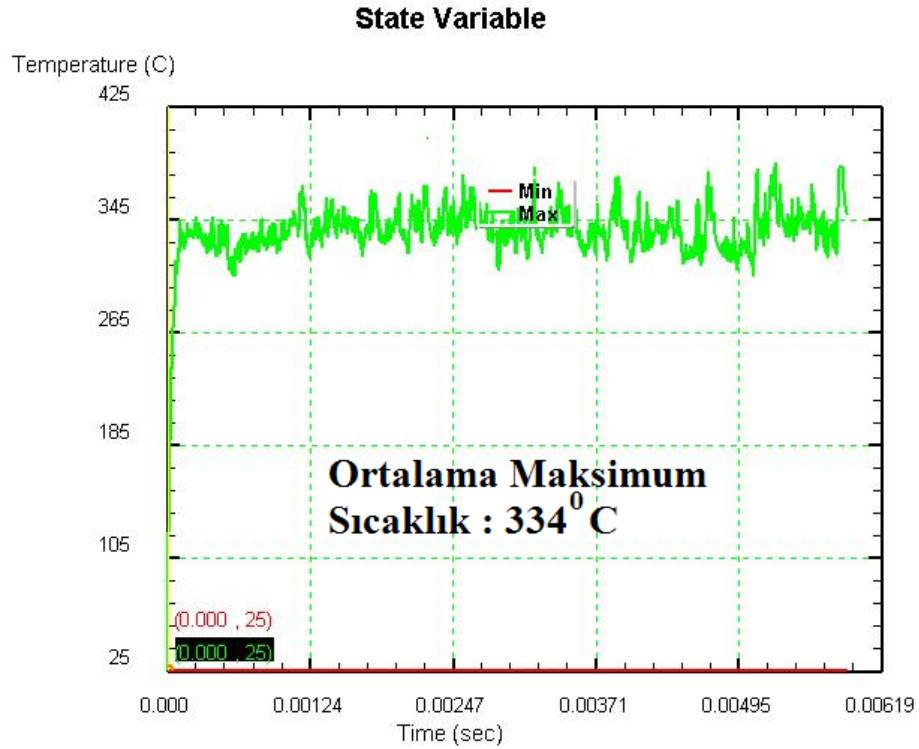
Şekil.3.44. 18° derecelik kesme açısında, 160 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



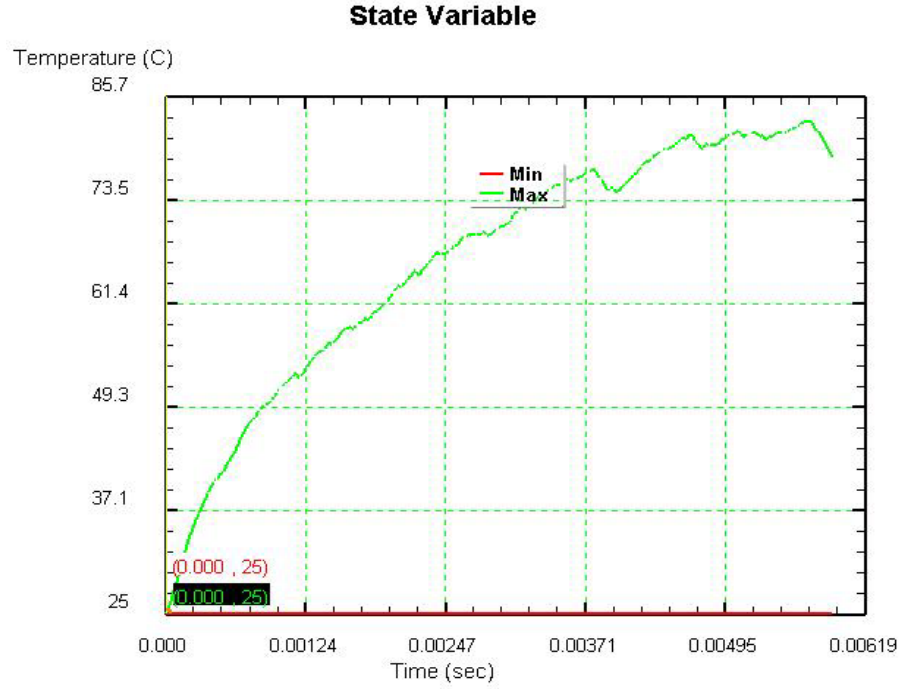
Şekil.3.45. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 314⁰C



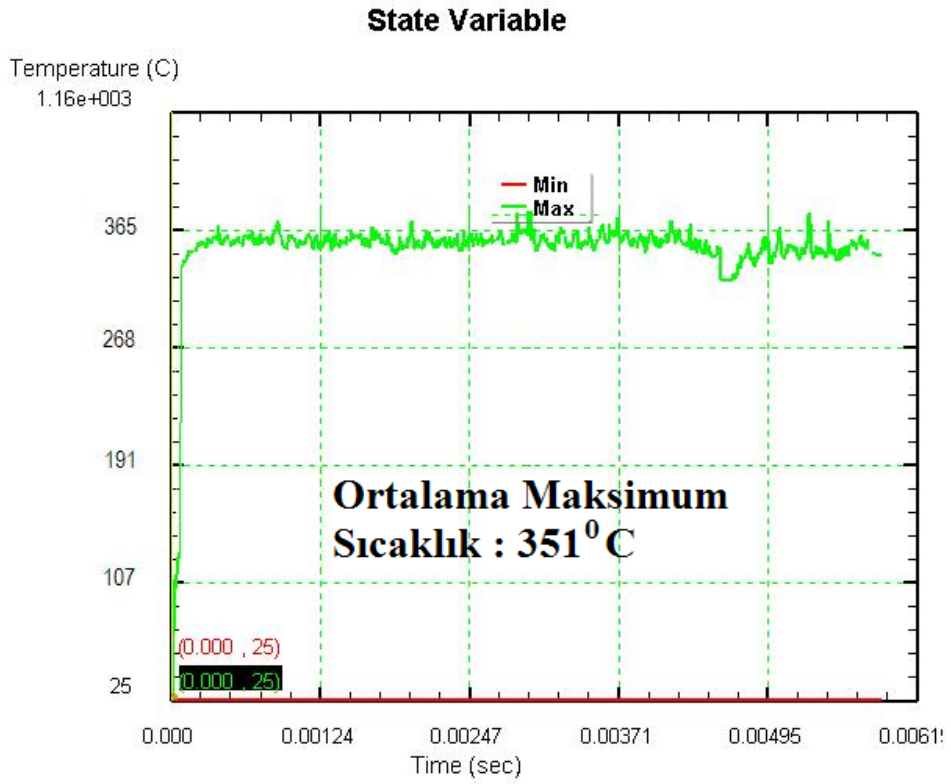
Şekil.3.46. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.050 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



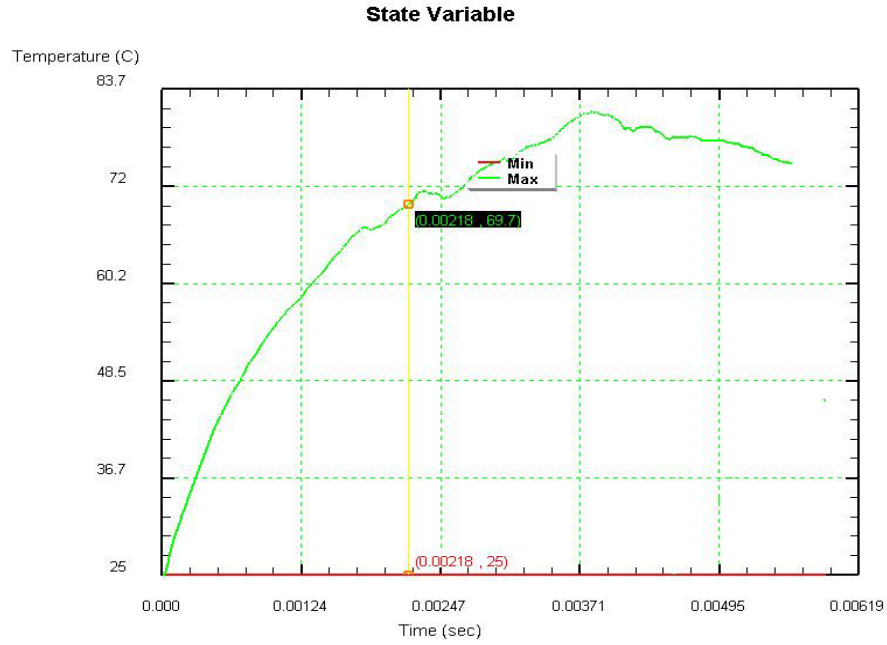
Şekil.3.47. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 334⁰C



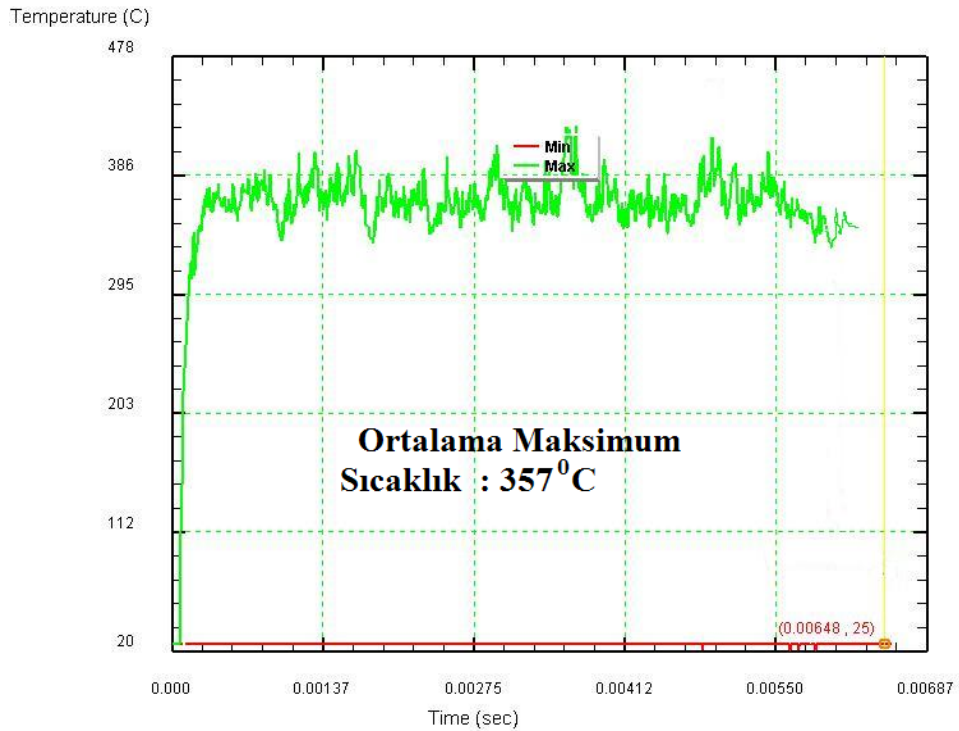
Şekil.3.48. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.100 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



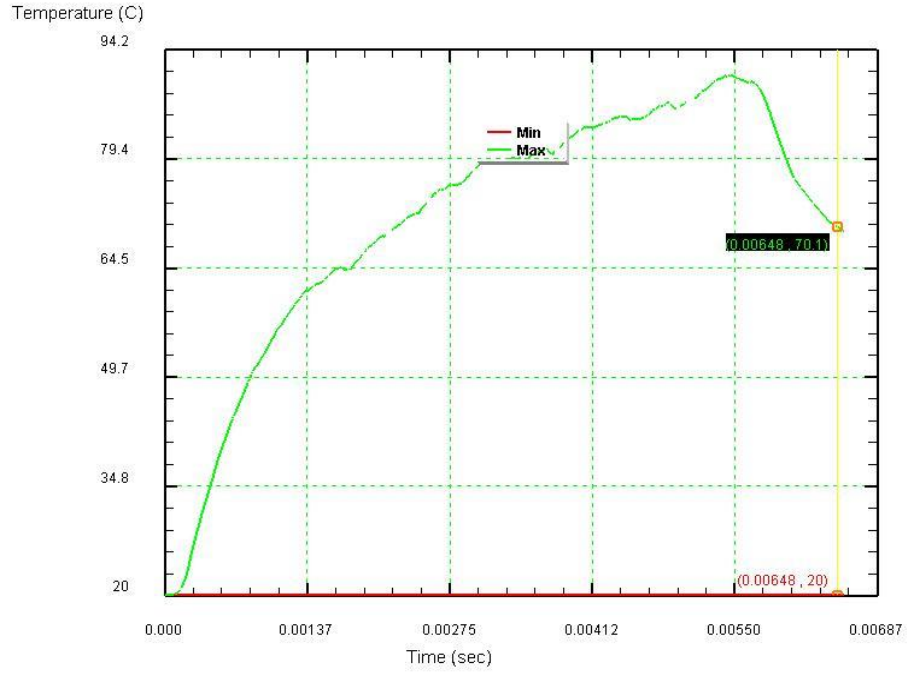
Şekil.3.49. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 351⁰C



Şekil.3.50. 18^0 derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.150 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği



Şekil.3.51. 18^0 derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki iş parçasında ortaya çıkan sıcaklık grafiği, maksimum sıcaklık, 357^0C

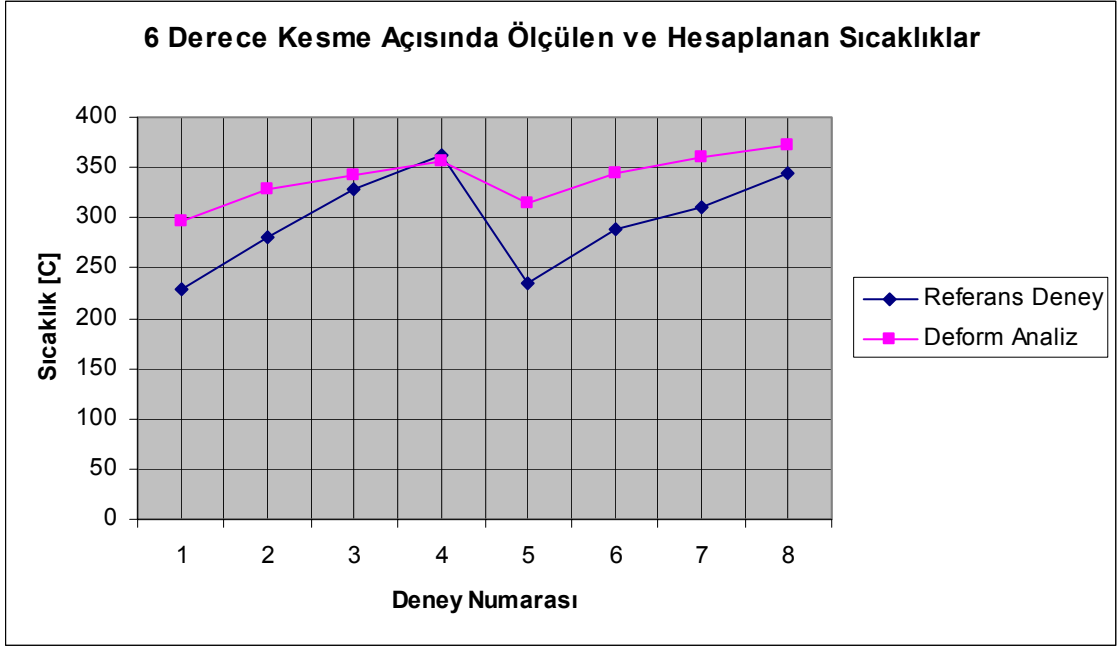


Şekil.3.52. 18° derecelik kesme açısında, 200 m/dak, 0.200 mm/dev ilerleme hızında, işleme sırasındaki kesici uçtaki sıcaklık grafiği

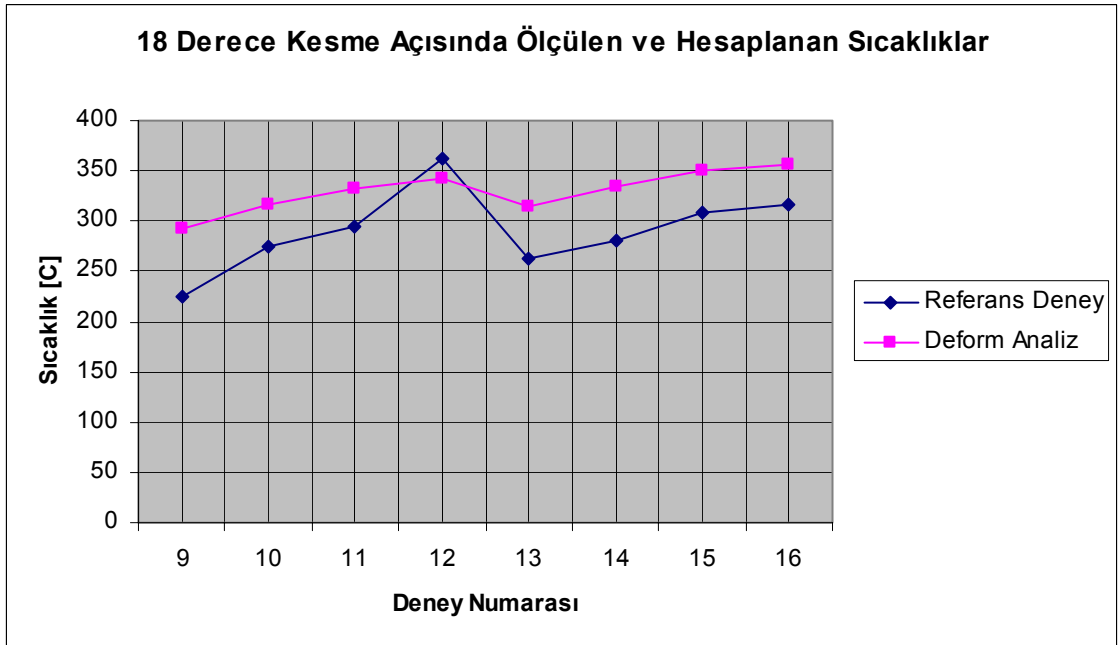
3.6. Referans Deney Sonuçları ile Deform'da Yapılan Analizlerinin Karşılaştırması

Çizelge.3.2. Referans çalışmada yapılan deney ve sonlu elemanlar analiz ile DEFORM'da yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırması

Deney Numarası	Deney Adı	Referans Makalede Hesaplanan Maksimum Sıcaklık [C]	Referans Deneyde Ölçülen Maksimum Sıcaklık [C]	DEFORM'da Hesaplanan Maksimum Sıcaklık [C]
1	06-A17075-160-0050	165	229	297
2	06-A17075-160-0100	237	281	328
3	06-A17075-160-0150	298	329	342
4	06-A17075-160-0200	355	363	356
5	06-A17075-200-0050	190	235	315
6	06-A17075-200-0100	280	288	345
7	06-A17075-200-0150	354	310	360
8	06-A17075-200-0200	423	344	373
				293
9	18-A17075-160-0050	155	225	293
10	18-A17075-160-0100	225	275	316
11	18-A17075-160-0150	284	295	332
12	18-A17075-160-0200	340	363	343
13	18-A17075-200-0050	181	262	314
14	18-A17075-200-0100	266	281	334
15	18-A17075-200-0150	338	308	351
16	18-A17075-200-0200	407	317	357



Şekil.3.53. 6^o kesme açısı için, Al7075 malzemesinin işlenmesi sırasında ölçülen ve hesaplanan maksimum sıcaklık grafiği



Şekil.3.54. 18^o kesme açısı için, Al7075 malzemesinin işlenmesi sırasında ölçülen ve hesaplanan maksimum sıcaklık grafiği

Referans deneyde, Al7075 parçasının çeşitli kesme parametrelerinde işlenirken, termal kamera cihazıyla ölçülüp, bir data kaydediciye aktarılmış ve maksimum sıcaklıklar elde edilmiştir. Aynı kesme parametreleri ile iş parçası – kesici uç geometrisi ve malzemesi girdileri kullanılarak DEFORM analiz programında, hesaplamalar yapılmış ve maksimum sıcaklık çıktılarına ulaşılmıştır. Çizelge.3.2 ‘ de, ölçülen ve hesaplanan maksimum sıcaklıklar gösterilmiştir. Şekil.3.53. ile Şekil.3.54. ‘te de, bu sıcaklıklar grafik halinde verilmiştir.

Deneyde ölçülen sıcaklık değerleri ile DEFORM’da hesaplanan sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, birbirine yakın, tutarlı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Daha yakın sonuçlar elde edebilmek için, “Mesh Generation” kısmında “Mesh size” ‘ın daha yüksek değerler girilmesi yoluna girilebilir. Genel olarak, bu çalışmada elde edilen değerlerin yön gösterici olduğu, fikir uyandırıcı olduğu kabul edilebilir.

BÖLÜM 4

SONUÇ

Burada, CNC tezgahlarda bir parçaya şekil verilmesi sırasında ortaya çıkan termal etkilerin ölçümü üzerine bir çalışma yapılmıştır. Öncelikle, bu termal değerlerin deneysel olarak incelenmesi, ölçülmesi ve de değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarına binaen, öncelikle, parça işlenirken ortaya çıkan termal değişimlerin teorik olarak hesaplanması araştırılmış ve bu konuda kesin çözümlerin değil de çeşitli yaklaşım metotlarının oluşturulduğu görülmüştür. Bu matematiksel hesaplamaların, prosesi etkileyen oldukça fazla ve de karmaşık parametrelere bağlı olarak etkilendiği görülmüştür. Daha sonra, bu proses sırasında sıcaklarının datalarının ölçümü için, çeşitli ölçme metotlarına ulaşılmış ve deney düzenekleri incelenmiştir. Burada da, aynı şekilde, ölçme sırasında ortaya çıkan talaş fırlaması, ölçüm yerinin aşırı basınç altında ve hızlı bir şekilde değişimi ile çok küçük boyutlarda kalması, sıcaklığı ölçebilecek termokupulların yerleştirilebilmesi problemi gibi zorluklara rastlanmıştır. İncelenen deney düzenekleri üzerine maliyet hesaplamaları yapılmış ve bu maliyetin, çalışmada imkanlar dahilinde yer bulamadığından dolayı, analiz programlarına başvurulmuştur. İmalata uygun olacak şekilde, bu sıcaklık değişimini hesaplayabilecek, tutarlı sonuçlar verebilecek programlar araştırılmıştır ve en uygun program olarak DEFORM Machining 3D belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, literatürde yapılan deneysel çalışmalarla paralel sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

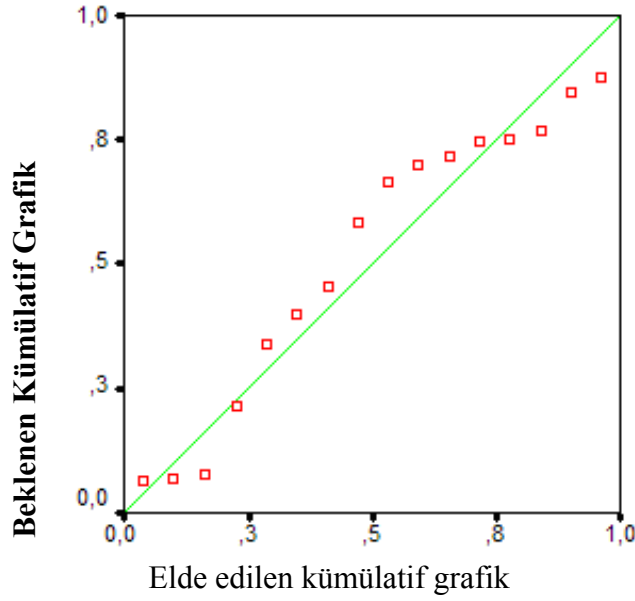
Referans deneyde ölçülen ve de DEFORM'da hesaplanan sonuçlara bakıldığında, sıcaklığın, aynı kesme açısı ve kesme hızında, artan ilerleme hızıyla arttığı görülmüştür. Aynı şekilde, aynı kesme açısı ve ilerlemede, artan kesme hızıyla, sıcaklık artışı tespit edilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme hızı sabit tutulup, kesme açısı değişimi için göz önünde bulundurulduğunda, yukarıdaki gibi kesin bir değişim söz konusu değildir. Örneğin, 200 [m/dak]'lık kesme hızı ve 0.050 [mm/dev] ilerlemede, 6°'lik kesme açısı için hesaplanan maksimum sıcaklık, 315 °C iken, 18°

'lik kesme açısı için bu değer, 314° C 'dir. Diğer deneylere de bakıldığında, sıcaklığın çok az bir şekilde, 18° kesme açısı için, düştüğü görülmektedir.

Bu grafiklere ilave olarak; mevcut kesme parametreleri ile bu parametrelere bağlı olarak Deform analiz programı ile elde edilen bu sıcaklık değerleri SPSS istatistik veri hazırlama programında girilip uygun kısmi regresyonlar yapıp uygun eğri eldesi yapılmış ve bu eğriye uygun bir bağıntı geliştirilmiştir.

Normal P-P Regresyon Grafiği

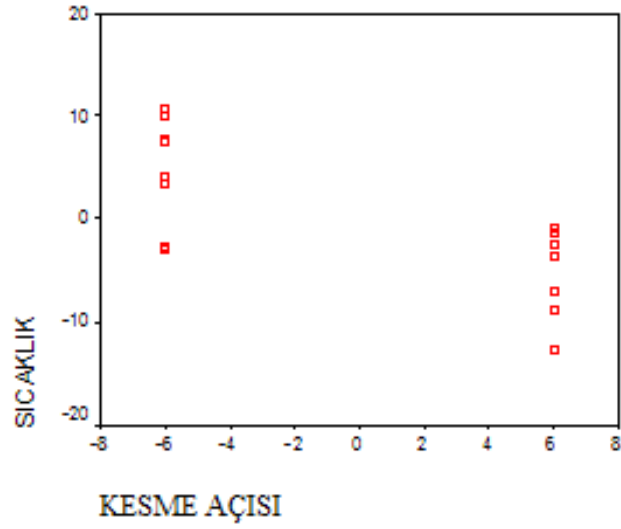
Bağımlı Değişken : Sıcaklık



Şekil.4.1. Bağımlı değişken "Sıcaklık"ın beklenen ve gözlenen kümülatif olasılıklarının regresyonu

Parçalı Regresyon Grafiği

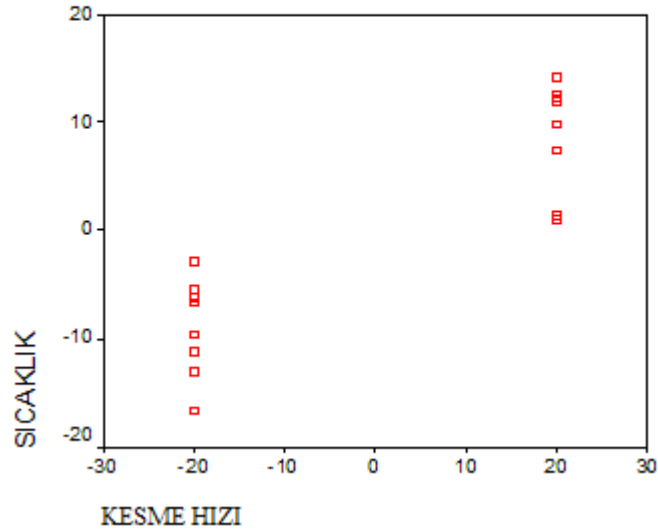
Bağımlı Değişken : Sıcaklık



Şekil.4.2. Bağımlı değişken “Sıcaklık”ın kesme açısına göre parçalı regresyonu

Parçalı Regresyon Grafiği

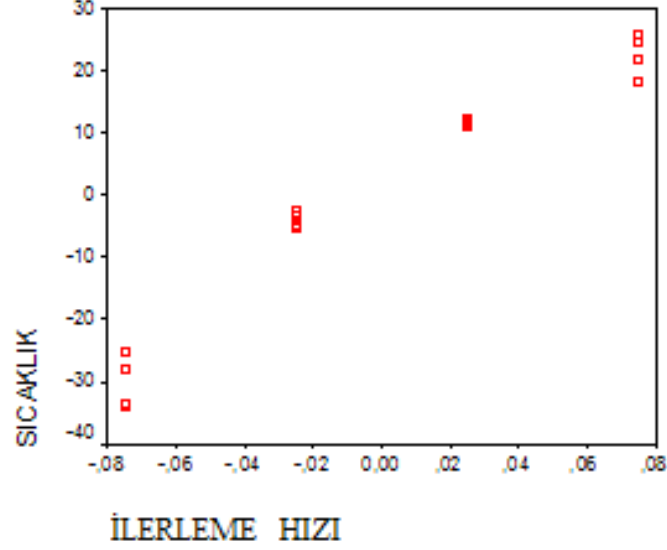
Bağımlı Değişken : Sıcaklık



Şekil.4.3. Bağımlı değişken “Sıcaklık”ın kesme hızına göre parçalı regresyonu

Parçalı Regresyon Grafiği

Bağımlı Değişken : Sıcaklık



Şekil.4.4. Bağımlı değişken “Sıcaklık” ın ilerleme hızına göre parçalı regresyonu

Şekil.4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 ‘te sırasıyla bağımlı değişken sıcaklığın, normal ve kısmi regresyonlarına yer verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede ise elde edilmek istenen bağıntının katsayı çizelgesi sunulmuştur. (Çizelge 4.1)

Çizelge.4.1. Bağımlı değişken “Sıcaklık” için geliştirilen bağıntı sabit ve katsayıları

Model		Standart olmayan katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.
		B	Std. Sapma	Beta		
1	(Constant)	221,125	12,391		17,846	,000
	θ (Kesme Açısı)	-,792	,216	-,213	-3,657	,003
	V_c (Kesme Hızı)	,444	,065	,399	6,833	,000
	f (İlerleme)	346,000	23,236	,869	14,891	,000

Dependent Variable: SICAKLIK

Bu verilere göre Al7075 malzemesi için elde edilen bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$T_{\text{maks}} = 221,125 - 0,792.\theta + 0,444 V_c + 346 f \quad (4.1)$$

Burada;

T_{maks} : Maksimum Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]

θ : Kesme Açısı [$^{\circ}$ derece]

V_c : Kesme Hızı [m/dak]

f : İlerleme Hızı [mm/dev]

Ulaşılan bu bağıntı ile genel olarak bu kesme parametrelerinde oluşabilecek maksimum sıcaklığın tutarlı sonuçlarına ulaşılabilmektedir. Analiz programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Çizelge 4.2’de Deform’da elde edilen analiz sonuçları ile SPSS istatistik veri hazırlama programı ile geliştirilen bağıntıda hesaplanan maksimum sıcaklık sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2’den anlaşılacağı üzere, elde edilen bu bağıntı ile yapılan hesaplamalarda, Deform Analiz programı ile bulunan sonuçlardan, maksimum %2 civarında bir sapma mevcuttur. Bağıntı, her bir kesme parametresi grubu için mantıklı ve de tutarlı olarak çalışmaktadır.

Çizelge.4.2. Çeşitli kesme parametrelerinde Al7075 malzemesi için Deform'da hesaplanan maksimum sıcaklıklar ile bağıntı ile hesaplanan sıcaklıkların karşılaştırması

Kesme açısı	Kesme Hızı [m/dak]	İlerleme [mm/dev]	Deform'da Hesaplanan Maksimum Sıcaklık [°C]	Bağıntı İle Hesaplanan Maksimum Sıcaklık [°C]	% Hata Farkı Oranı
6	160	0,050	297	304,713	2,596969697
6	160	0,100	328	322,013	-1,825304878
6	160	0,150	342	339,313	-0,785672515
6	160	0,200	356	356,613	0,172191011
6	200	0,050	315	322,473	2,372380952
6	200	0,100	345	339,773	-1,515072464
6	200	0,150	360	357,073	-0,813055556
6	200	0,200	373	374,373	0,368096515
18	160	0,050	293	295,209	0,753924915
18	160	0,100	316	312,509	-1,104746835
18	160	0,150	332	329,809	-0,659939759
18	160	0,200	343	347,109	1,197959184
18	200	0,050	314	312,969	-0,328343949
18	200	0,100	334	330,269	-1,117065868
18	200	0,150	351	347,569	-0,977492877
18	200	0,200	357	364,869	2,204201681

Elde edilen tüm bu sonuçlara göre, böylesi bir proseste Al7075 iş parçası malzemesi için, optimum kesme parametreleri elde edilebilir. Buradan yola çıkılarak farklı malzemeler için de aynı çalışmalar yapılabilir. Talaşlı imalat sektöründe çalışan mühendislere, bu tarz deneysel ve DEFORM gibi analiz programı uygulamaları, en uygun kesici uç ile kesme parametreleri seçiminde, ayrıca soğutma sıvısı ve bunun debisinin veya basıncının belirlenmesinde belirli malzemeler için oldukça faydalı bir çalışma olacaktır. Aynı şekilde, talaşlı imalat sektörüne hizmet eden kesici uç üreticilerinin, belirli malzemelere özel veya genel amaçlı kullanımlar için parçaya şekil verilmesi sırasında, kullanılacak kesici ucun malzemesi, kesme boşluğu, kesme derinliği, talaş kırıcı formu, arka, ön, yan açılar gibi geometrisi, kesici uç kaplama malzemesi ve kaplama kalınlığı gibi kriterleri belirleyerek tasarımlarını en uygun şekilde yapmalarına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

DEFORM-3D V6.1 Machining Analiz Programı, www.deform.com

Dinc, C., Lazoğlu, I., Serpenguzel, A., 2007, Analysis of thermal fields in orthogonal machining with infrared imaging, *Journal Of Materials Processing Technology* 198 (2008), 147-154

Kantaroğlu, E., 1987, İmalat Mühendisliği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 121

Kurt, A. ve Şeker, U., 2005, Kesici takım gerilmelerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 20, No 4, 491-497

Lazoğlu, İ., Serpengüzeli, A., Ekim 2006, Bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) tezgahlarında takım, parça ve talaş sıcaklıklarının yüksek çözünürlüklü kızılaltı kamera yardımıyla incelenmesi, Tubitak, Proje no : Misag-193, İstanbul

Lazoglu, I., Altintas, Y., 2002, Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42 (2002), 1011- 1022

Majumdar, P., Jayaramachandran, R., Ganesan, S., 2005, Finite element analysis of temperature rise in metal cutting processes, *Science Direct, Thermal Engineering* 25 (2005) 2152 – 2168

SECO, Machining Navigator, Milling 1, Milling 2, Turning, Holemaking, Jabro, 2008, <http://legacy.secotools.com/template/start.asp?id=27660>

SPSS İstatistik Veri Hazırlama Programı, www.spss.com

Umbrello, D., Filice, L., Rizzuti, S., Micari, F., 2007, On the evaluation of the global heat transfer coefficient in cutting, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47 (2007) 1738 – 1743