

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALATTA DALARAK KABA
ve TROKOİDAL İŞLEME ALGORİTMALARININ
BİRLEŞTİRİLMESİ**

Makine Mühendisi Murat ÖZKAN

**FBE Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT (CAM).....	4
2.1 CAM'in Esasları	7
2.2 CAM Aşamaları.....	8
2.2.1 Modelleme	8
2.2.1.1 3D Tel-Kafes Modelleme	10
2.2.1.2 3D Yüzey Modelleme.....	14
2.2.1.3 3D Katı Modelleme	19
2.2.2 Teknolojik Seçimler	20
2.2.3 Takım Yolları Oluşturulma İşlemleri	21
2.2.3.1 Güncel Takım Yolu Oluşturma Aşamaları.....	22
2.2.3.2 Yeni Takım Yolu Oluşturma Aşamaları.....	23
2.2.3.3 İşleme Toleransı	24
2.2.3.4 Uygunluk	25
2.2.3.5 İnterpolatör Uyumluluğu	26
2.2.4 Son İşlemci ve NC Programının Oluşturulması	31
2.3 Takım Yolu Parametreleri	35
2.3.1 Takım Yollarının Oluşturulması.....	38
2.3.2 Takım Yollarının Doğrulanması.....	39
2.3.3 Çarpışmanın Kontrol Edilmesi	40
2.3.3.1 Dalma Önleme Ve Düzeltme.....	40
2.3.3.2 On-Line Dalma Önleme	41
2.3.3.3 Off-Line Dalma Önleme.....	42
2.3.4 Yanal Çarpma Önleme	43
3. TAKIM YOLU OLUŞTURMA ALGORİTMALARI.....	45
3.1 İzo-Parametrik Takım Yolları.....	45
3.2 İzo-Planer İşleme	48
3.3 Sabit Çıkıntı Yüksekliğine Göre İşleme	50

3.4	Cep Boşaltma.....	52
3.4.1	Zig-Zag Cep İşleme	55
3.4.2	Spiral Dış İşleme	55
3.4.3	Doğrusal İşleme	56
3.5	Alan Doldurma Eğrileri	57
3.5.1	Moore Alan Doldurma Eğrileri	58
3.5.2	Sierpinski Alan Doldurma Eğrileri.....	59
3.5.3	Hilbert Alan Doldurma Eğrileri.....	60
3.5.4	Peano Alan Doldurma Eğrileri	61
4.	İŞ PARÇASI İŞLEME STRATEJİLERİ	62
4.1	Finiş İşleme Stratejileri.....	62
4.2	Kaba İşleme Stratejileri Ve Özellikleri.....	68
4.3	Takımyolu Düzenleme	75
4.4	Hassasiyet Ve Verim	77
5.	DALARAK KABA İŞLEME	80
5.1	Giriş	80
5.2	Literatüre Bakış	83
6.	TROKOİDAL İŞLEME	87
6.1	Trokoid Nedir	87
6.2	Trokoid Eğrileri	87
6.3	Trokoidal Frezeleme	89
6.3.1	Dairesel Model	97
6.3.2	Trokoidal Model	98
6.3.3	Tüm Takım yolunun hesaplanması.....	100
7.	UYGULAMALAR ve SONUÇLAR.....	101
7.1	Algoritmaların Oluşturulması.....	101
7.1.1	Dalarak Kaba İşleme Algoritmasının Oluşturulması.....	101
7.1.2	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1.....	102
7.1.3	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2.....	103
7.1.4	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3.....	104
7.2	CAM Programında Simülasyonların Oluşturulması.....	106
7.2.1	Dalarak Kaba İşleme Algoritması Simülasyonu	106
7.2.2	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 Simülasyonu.....	107
7.2.3	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2 Simülasyonu.....	108
7.2.4	Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3 Simülasyonu.....	109
7.3	Algoritmaya Ait Parametreler	110
7.3.1	Kesici Takım.....	110
7.3.2	Boşaltılan Alan'a Ait Parametreler.....	111
7.4	Sonuçlar	113
7.4.1	Simülasyona Ait Sonuçlar	113
7.4.2	Uygulama Parametreleri ve Sonuçlar	115
7.4.2.1	Kestamid (İşlenen Parça).....	115
7.4.2.2	CNC Freze Tezgâhı	116
7.4.2.3	Kesici Takım.....	117
7.4.2.4	Uygulamaya Ait Sonuçlar	118

KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	128

SİMGE LİSTESİ

\emptyset_j	Açısal konum
$h(\emptyset_j)$	Talaş kalınlığı
Δa	Diferansiyel uzunluk
F_{tj}	Teğetsel kuvvet
F_{aj}	Radyal kuvvet
F_{fj}	İlerleme kuvveti
T_{cj}	Tork
r_k	Tork kolu
Ω	Açısal hız
C	İlerleme hızı
ω_{nh}	Doğal frekans
k_h	Rijitlik
ζ_h	Sönüm oranı.
R_p	Dönüş yarıçapı
R_c	Kesici takım yarıçapı
C	Her bir dönüş için ilerleme
\emptyset	X-Y-Z koordinat sisteminde kesici takımın konumunu gösteren açı
b_1	Dönüş hareketindeki merkezden iş parçası üst kısmına düşey uzaklık
b_2	Dönüş hareketindeki merkezden iş parçası alt kısmına düşey uzaklık

KISALTIMA LİSTESİ

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
DNC	Direct Numerical Control
CIM	Computer Integrated Manufacturing
PLC	Programmable Logic Controller
MRP	Manufacturing Resource Planning
APT	Automatically Programmed Tool
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ROM	Read Only Memory
MCU	Machine Control Unit
NURBS	Non-Uniform Rotational B-spline Surface
CL	Cutter Location
CC	Cutter Contact
PI	Protrusion Interference
OI	Overlapping Interference
CBI	Boundary Collision Interference
CSG	Constructive Solid Geometry
STL	Standard Triangulation Language

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil.2.1 Bilgisayar destekli üretim kavramı.	4
Şekil 2.2 2D ve 3D model karşılaştırılması.	8
Şekil 2.3 2D sistemde üç bakış yönü.	9
Şekil 2.4 3D görünüş.	10
Şekil 2.5 3D görünüşteki yanılmalar.	11
Şekil 2.6 Görünmeyen doğruların kaldırılmasının etkileri.	12
Şekil 2.7.a Gerçek 3D görünüş.	12
Şekil 2.7.b Tel kafes görünüşleri.	13
Şekil 2.8 Doğrularla eğrisel bir yüzeyin ifade edilmesi.	13
Şekil 2.9 Ötelenmiş düzlemsel yüzey yapısı.	15
Şekil 2.10 Ötelenmiş eğrisel yüzey yapısı.	16
Şekil 2.11. 3D bir nesnenin ötelenmiş yüzey alanı.	16
Şekil 2.12 Dönel öteleme hareketi ile oluşturulan bir yüzey.	17
Şekil 2.13. 3D farklı eleman karışımlarından oluşan bir yapı (blending).	17
Şekil 2.14 Yüzeyin ağ şeklinde (patch) bölünmesi.	18
Şekil 2.15 Katı modelin dönme ve öteleme metodu ile oluşturulması.	20
Şekil 2.16 Ham malzemenin işlenmesi ve işleme parametreleri.	21
Şekil 2.17 Günümüzde kullanılan takım yolu oluşturma metodu aşamaları şeması.	22
Şekil 2.18 Optimal takım boyu seçimli yeni bir takım yolu oluşturma şeması.	23
Şekil 2.19 Dalma problemi (Kesici takım yarıçapı yüzey eğrilik yarıçapından büyük)	25
Şekil 2.20 Dalma Problemi.	25
Şekil 2.21 Yan çarpma problemi.	26
Şekil 2.22 Takım Pozisyonlama.	27
Şekil 2.23 Değişik düzlemlerde dairesel interpolasyon.	28
Şekil 2.24 Yay koordinatları.	29
Şekil 2.25 Yay üzeri kesim işlemi.	29
Şekil 2.26 Çıkıntı Hatası (Protrusion Interference, PI) (Ersoyoğlu vd., 2001)	43
Şekil 2.27 Bindirme Hatası (Overlapping Interference, OI). (Ersoyoğlu vd., 2001)	44
Şekil 2.28 Sınır Çarpışma Hatası (Boundary Collision Interference, CBI). (Ersoyoğlu vd., 2001)	44
Şekil 3.1 İzo-parametrik takım yolları ($v = \text{sabit}$). (Ersoyoğlu vd., 2001)	45
Şekil 3.2 İleri artış miktarının hesabı için giriş yaklaşımı. (Ersoyoğlu vd., 2001)	46
Şekil 3.3 Bir yüzey için, (a) İzo-parametrik, (b) Adaptif izo-parametrik takım yolları. (Ersoyoğlu vd., 2001)	47
Şekil 3.4 Gerçek ileri artış hatası. (Ersoyoğlu vd., 2001)	48
Şekil 3.5 İzo-Planer işleme ($i = 1,2,3,\dots,n$, paralel düzlemler). (Ersoyoğlu vd., 2001)	49
Şekil 3.6 Sabit çıkıntı yüksekliğine göre işleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)	51
Şekil 3.7 Basit bir cep boşaltma işlemi. (Ersoyoğlu vd., 2001)	52
Şekil 3.8 Eşit mesafeli eğrilerle alt alanlara bölünmüş. (Ersoyoğlu vd., 2001)	52
Şekil 3.9 Şekil 3.8'de görülen cep için takım yolları. (Ersoyoğlu vd., 2001)	53
Şekil 3.9 Düzlemsel bir cep boşaltma işleminin Voronoi diyagramı. (Ersoyoğlu vd., 2001) ..	54
Şekil 3.10 Zig-Zag İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)	55
Şekil 3.11 Spiral Dış İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)	56
Şekil 3.12 Paralel İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)	56
Şekil 3.13 Alan doldurma eğrileri. (Ersoyoğlu vd., 2001)	58
Şekil 3.14 Mertebelerine göre Moore eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3.	58
Şekil 3.15 Mertebelerine göre Sierpinski eğrileri (a) Mertebe1 (b) Mertebe2 (c) Mertebe3. ...	59
Şekil 3.16 Hilbert eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3 (d) Mertebe 4.	60
Şekil 3.17 Mertebelerine göre Peano eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3.	61

Şekil 4.1 Raster işleme	62
Şekil 4.2 Sabit Z işleme	62
Şekil 4.3 Sığ Bölge işleme	63
Şekil 4.4 Spiral işleme	63
Şekil 4.5 Radyal işleme	64
Şekil 4.6 Projeksiyon işleme	64
Şekil 4.7 Köşe işleme	65
Şekil 4.8 Dönel işleme	65
Şekil 4.9 Rest işleme	66
Şekil 4.10 Üç boyutlu ofset finiş işleme	66
Şekil 4.11 Pencil işleme	67
Şekil 4.12 Üç boyutlu ofset spiral finiş işleme	67
Şekil 4.13 Çarpma kontrolü	68
Şekil 4.14 Konvansiyonel (Upcut) ve ters kesme (Climb)	69
Şekil 4.15 Offset alan temizleme	69
Şekil 4.16 Profil alan temizleme	70
Şekil 4.17 Raster Kaba için otomatik açılış	70
Şekil 4.18 Gereksiz hareketleri filitreleme	71
Şekil 4.19 Paket işleme	71
Şekil 4.20 Skim özelliği	72
Şekil 4.21 Z katmanları arasında kesici hareketleri	72
Şekil 4.22 Tam ağız kesmeleri minimize etme	73
Şekil 4.23 Kaba talaşta kalan yerleri işleyebilme	73
Şekil 4.24 Dalarak kaba işleme	74
Şekil 4.25 Trokoidal İşleme	74
Şekil 4.26 İşlemeye giriş-çıkış ve linkler	75
Şekil 4.27 Dönüştürme İşlemleri	75
Şekil 4.28 Limitleme	76
Şekil 4.29 Ekleme	76
Şekil 4.30 Takım arakesit durumları, (a) Küre-Küre, (b) Küre-Yan kenar kesişimi	77
Şekil 4.31 Cep işlemede ince çıkıntılar ve pinler	78
Şekil 5.1 Dalarak Kaba İşleme	80
Şekil 5.2 Merkez kesmeli dalarak kaba işleme yöntemi için takım yolu örneği	81
Şekil 5.3 Takım yollarının gösterimi	81
Şekil 5.4 Köşe kesmeli dalarak kaba işleme yöntemi için takım yolu örneği	81
Şekil 5.5 Konik takım yolu örneği	82
Şekil 5.6 Konvansiyonel alın frezeleme ile dalarak kaba işleme zaman karşılaştırılması	82
Şekil 5.7. Dalarak kaba işleme yönteminde takım yolları	83
Şekil 5.8 Dalarak kaba işleme yöntemine ait örnekler (Ko, 2007, Dynamics and Stability of Plunge Milling Operations)	84
Şekil 6.1 Trokoid oluşumu	87
Şekil 6.2 Birincil ve ikincil trokoid	87
Şekil 6.3 Asimetrik dişli kremayer takım	88
Şekil 6.4 Asimetrik diş geometrisi ve trokoid eğrileri	88
Şekil 6.5 Asimetrik takım ile imalat ve takım ucu yörüngeleri	89
Şekil 6.6 Sivri uçlu asimetrik takım ile imalat ve takım ucu yörüngesi	89
Şekil 6.7 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 (Otkur vd. 2006)	91
Şekil 6.8 Trokoidal (a) ve Çift Trokoidal (b) işleme için takım yolları (Otkur vd., 2006)	94
Şekil 6.9 Trokoidal takım yollarını için başvuru dairesel ve trokoidal modeller (Otkur vd., 2006)	96
Şekil 6.10 Radyal kesme derinliği hesaplama modeli ve parametrisasyonu (Otkur vd., 2006)	96

Şekil 6.11 Radyal Kesme Derinliklerinin her iki model için Karşılaştırılması (Otkur vd., 2006).	99
Şekil 7.1 Dalarak kaba işleme algoritmasının CAD yardımıyla oluşturulması.	101
Şekil 7.2 Dalarak kaba işleme algoritması.	102
Şekil 7.3 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-1 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.	102
Şekil 7.4 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1.	103
Şekil 7.5 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-2 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.	104
Şekil 7.6 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2.	104
Şekil 7.7 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-3 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.	105
Şekil 7.8 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2.	105
Şekil 7.9 Dalarak Kaba İşleme Algoritması Simülasyonu.	106
Şekil 7.10 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 Simülasyonu.	107
Şekil 7.11 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2 Simülasyonu.	108
Şekil 7.12 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3 Simülasyonu.	109
Şekil 7.13 Kesici takım geometrisi.	110
Şekil 7.14 Kesici takım parametreleri.	110
Şekil 7.15 CAD datasına ait alanlar.	111
Şekil 7.16 Tüm boşaltılan alan.	111
Şekil 7.17 A alanına ait değerler.	112
Şekil 7.18 A1 ve A2 alanına ait değerler.	112
Şekil 7.19 Talaş Oluşumu.	114
Şekil 7.20 Fanuc Series 18I-MB tipi CNC freze tezgâhı.	116
Şekil 7.21 Fanuc Series 18I-MB tipi CNC freze tezgâhı kontrol ünitesi.	117
Şekil 7.22 Uygulamada kullanılan düz freze takımı.	117
Şekil 7.23 Kesici takıma ait ölçüler.	117
Şekil 7.24 Kombinasyon-2 ye ait işlemeden bir enstantane görünümü.	118
Şekil 7.25 İşleme operasyonu sırasında talaş oluşumu.	120
Şekil 7.26 Dalarak Kaba İşleme örneği.	120
Şekil 7.27 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1 örneği.	121
Şekil 7.28 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2 örneği.	121
Şekil 7.29 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3 örneği.	122
Şekil 7.30 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.	122
Şekil 7.31 MAHR PERTHEN M4P Ölçme Cihazı sensör desteği.	123
Şekil 7.32 Malzemelere yüzey pürüzlülüğü ölçümünün uygulanması.	124

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Dairesel interpolasyonda kullanılan komutlar.....	30
Çizelge 7.1 Simülasyonda işleme sürelerinin karşılaştırılması.	113
Çizelge 7.2 İşlenen malzemeye (Kestamid) ait özellikler	116
Çizelge 7.3 Uygulamada takımın kat ettiği yolların karşılaştırılması.	119
Çizelge 7.4 Uygulamada işleme sürelerinin karşılaştırılması.	119
Çizelge 7.5 İşleme operasyonlarına ait yüzey pürüzlülük değerleri.....	123

ÖNSÖZ

Bugün bu çalışmayı hazırlama ve dile getirme şansına sahip olmamda destek olan ve almış olduğum eğitimin her kademesinde yer alan, bilgi ve birikimlerini öğrencileri ile paylaşan, başta Süleyman Demirel Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi saygıdeğer hocaları ve akademik personeli olmak üzere şahsıma emeği geçmiş bütün hoca ve öğretmenlerime teşekkürü borç bilirim. Bu uzun soluklu çalışma öncesinde ve sırasında şahsıma her türlü yardım ve manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Sn. Erhan ALTAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın ilerleyen yıllarda konu üzerinde araştırma ve çalışma yapan tüm öğrencilere bir kaynak ve yol gösterici olabilmesi, sağlıklı bilgiler sunabilmesi en büyük temennimdir.

ÖZET

Teknolojideki hızlı gelişim, günümüzde üretici firmaların alanlarında rekabetçi olarak kalabilmeleri için, tasarım ve üretimi hızlandırarak yeni dizaynların pazara sunuş sürecinin mümkün mertebe kısaltılmasını zorunlu kılmaktadır. Örnek olarak otomotiv sektörünü ele alırsak yeni bir modelin piyasaya çıkış zamanı dizaynda ve üretimde bilgisayar destekli tekniklerin kullanılmaya başlanmasıyla çok azalmıştır.

Öyle ki CAD (Computer Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım) sistemleri sayesinde, eski ürünün dotalarından yararlanarak yeni bir aracın dizaynının geliştirilmesi çok daha kolay olmaktadır. Aynı şekilde araçta kullanılan parçaların imalatı için gerekli olan kalıp, aparat ve fikstürlerin tasarımı da bu sistemler sayesinde daha kısa sürede ve daha hassas olarak yapılabilmektedir.

Hazırlanan tasarımların CAM (Computer Aided Manufacturing, Bilgisayar Destekli İmalat) sistemleriyle imali konvansiyonel metotlarla göre kat kat hızlı ve daha kusursuz olmaktadır. Bunun içindir ki günümüzde sayısal kontrollü takım tezgâhlarının (Computer Numerical Control, CNC) kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır. Türk metal işleme endüstrisinde, günümüzün gelişmeye en açık teknolojik yeniliği de bilgisayar destekli sayısal kontrol CNC tezgâhlarının kullanımındır ve bu sistemlerin üretime adaptasyonu hızla devam etmektedir.

Bu çalışmada bilgisayar destekli imalat ana hatlarıyla incelenmiş, takım yolunu oluşturan parametreler ve takım yolu oluşturma yöntemlerine değinilmiş ve bilgisayar destekli imalatta frezelemede kaba işleme yöntemlerinden olan dalarak kaba işleme ve dalarak kaba işleme ile trokoidal işlemenin kombinasyonu ile oluşturulan işleme yöntemleri süreçler açısından mukayese edilmiştir.

Yapılan çalışma sonunda, dalarak kaba işleme yöntemiyle malzeme daha kısa sürede işlenirken, dalarak kaba işleme ile trokoidal işleme kombinasyonu algoritmaları ile daha düzgün bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan kombinasyon işleme yöntemleri ile kaba işleme sonrası yapılacak ince işlemenin daha az olması üstünlük sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Bilgisayar destekli imalat, bilgisayar destekli üretim, Sayısal kontrollü takım tezgâhları, takım yolu oluşturma, dalarak kaba işleme, trokoidal işleme.

ABSTRACT

Nowadays, due to rapid improvement on cutting-edge technology, competitive market necessitates producing companies to be as quick as possible in the process of putting on new design to the market. It is only possible by accelerating their design and production systems. For example, since the computer aided design technologies started to be used in design and production stage of automotive industry, release of new automobiles to the market got shorter.

Thanks to CAD (Computer Aided Design) systems it is so much easier to develop new product designs by using old product data. In the same way; mould, apparatus and fixture designs which are needed part designs for new developments can be produced in a shorter time with greater precision.

Created designs can be machined so much quicker and more defect-free by using CAM (Computer Aided Manufacturing) systems comparing to conventional methods, for that reason it is inevitable to have CNC (Computer Numerical Control) machines in these days. Usage of CNC machines is the most obvious innovation to develop and adaptation process of these systems into production growing rapidly in Turkish metal working industry.

In this dissertation, computer aided manufacturing has been studied with main baselines and their objectives, toolpath generation elements and methods described in details and lastly two of the rough machining method of plunge roughing and the combination of plunge roughing and trochoidal milling are compared in terms of machining time.

In conclusion, the combination of trochoidal milling and plunge roughing has given much better surface quality comparing to rough machining, while rough machining has given shorter machining time. Therefore, having better surface roughness which is obtained by combination of rough machining and trochoidal milling will ease the finish process of machining.

Keywords: Computer aided manufacturing, Computer aided design, Computer numerical control, toolpath generation, plunge roughing, trochoidal milling.

1. GİRİŞ

CNC' den yararlanılarak yapılan üretim çoğu zaman en ekonomik yöntemdir. CNC ile yüksek üretim hızı sağlanır, takım maliyetinin düşürülmesi sağlanır, hızlı takım değiştiriciler (magazin) sayesinde hazırlık zamanları kısalmış, sürekli güvenilir hassasiyet sağlanabilir, hurda miktarı azalır, kalite kontrol maliyeti düşer, tezgâhta yapılan işleme sonrası tesviye işlemleri klasik tezgâhlara göre çok daha azdır, kaliteyi etkilemeden birden çok vardiya çalışma imkânı doğar, yüksek seviyede esneklik sağlanır, daha disiplinli bir organizasyon mümkün olur.

Konvansiyonel tezgâhlarda operatörün becerisine bağlı olan hassasiyet CNC'lerde tezgâh ve program tarafından sağlandığı için bu tezgâhlar usta bir operatör gerektirmez. Operatör tarafından yapılan tüm düşünme işlemleri, parça programı içerisinde bulunmaktadır. Bu avantajlarından dolayı, CNC tezgâhları birden fazla konvansiyonel tezgâhın yerini alabilir.

CNC tezgâhlarda, takım ve parça hareketleri yani takım yolları (tool-path) G ve M kodlarını içeren programlarla ifade edilir. CNC'ler parça programı, işletim programı ve kontrol programı olmak üzere üç ana programla çalışmaktadır.

Parça programı, iş parçasının son şeklinin geometrik olarak tanımlanması ve iş mili hızı ile paso miktarı gibi kesme parametrelerini içerir.

İşletim programı, parça programının düzeltilmesi, değiştirilmesi ve kontrol edilmesini sağlamak için özel fonksiyonları çalıştırır.

Kontrol programı ise parça programını giriş verisi olarak alır ve hareket eksenlerini tahrik etmek için sinyaller üretir. CNC takım tezgâhlarına verilen bilgiler, boyutsal bilgiler ve fonksiyon değiştirme bilgileri olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Boyutsal bilgiler, iş parçasının ham geometrisi, bitmiş ürün geometrisi ve her operasyon sırasında gerçekleşecek olan geometri değişikliklerini belirtir. Fonksiyon değiştirme bilgileri ise takım değiştirme, takım hareketi, soğutucu sıvı açma-kapama vb. fonksiyonları kontrol etmektedir.

Program tezgâha diskette veya RS-232 (cable) arabirimiyle doğrudan yüklenebilir, tezgâh bu programı saklar ve istenildiğinde tekrar işleyebilir. Belirli işlemler için alt programlar oluşturularak hazırlanması gereken program büyük ölçüde basitleşmiş olur. Programlama bir CAM programı ile yapılabileceği gibi "Play-back" veya "gezdirme" denilen yöntemle de (ilk parçayı elle işleyerek takım yolunu tezgâha öğretme) gerçekleştirilebilir.

İşleme stratejileri kaba işleme ve ince işleme algoritmaları olarak ayrılırlar. Malzeme önce daha büyük çaplı kesici takımlarla kaba olarak işlenir ve sonrasında daha hassas kesici takımlar kullanılarak ince işleme sürecinden geçer. Gerekmesi halinde bazen “polishing” olarak adlandırılan üçüncü bir hassas işleme yapılabilir.

Bu çalışmada imalat sektöründe kaba işleme stratejileri olarak hali hazırda kullanılan “Dalarak Kaba İşleme” (geniş kalıpların işlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir) ve “Dalarak Kaba İşleme” ve “Trokoidal İşleme” metodlarının birleştirilmesiyle “Dalarak Kaba İşleme” sonrasında işlenen malzeme üzerinde kalan talaşların “Trokoidal İşleme” yönteminin uygulanmasıyla temizlenmesi ele alınacaktır.

Dalarak kaba işleme kısaca değinmek gerekirse; kaba talaş kaldırma, boşaltılacak bölgelerin matkap ile çürütülmesi işlemidir. Ana prensip olarak kesme işlemi sadece Z ekseninde yapılmaktadır. Takım bir dizi bindirme yapar, benzer dalmalarla her pasoda malzemedeki silindirik bir dolgu koparılır.

İlk bakışta etkisiz bir yaklaşım olarak görülse de, X ve Y ekseninde hareketlere oranla, Z ekseninde hareketin rijitliğinin artırılması takımın aynı kesme hızında malzemeye ait daha büyük bir ara kesite nüfuz etmesini sağlar. Bu nedenle bu yöntem ile frezelemeye oranla daha fazla talaş kaldırma sağlanır. Derin ve yüksek talaş miktarı olan parçalarda çok yüksek hız kazandırır. Talaş kaldırma esnasında yanal yüklerin çok az olması tezgâhın ve milin ömrünü arttırır.

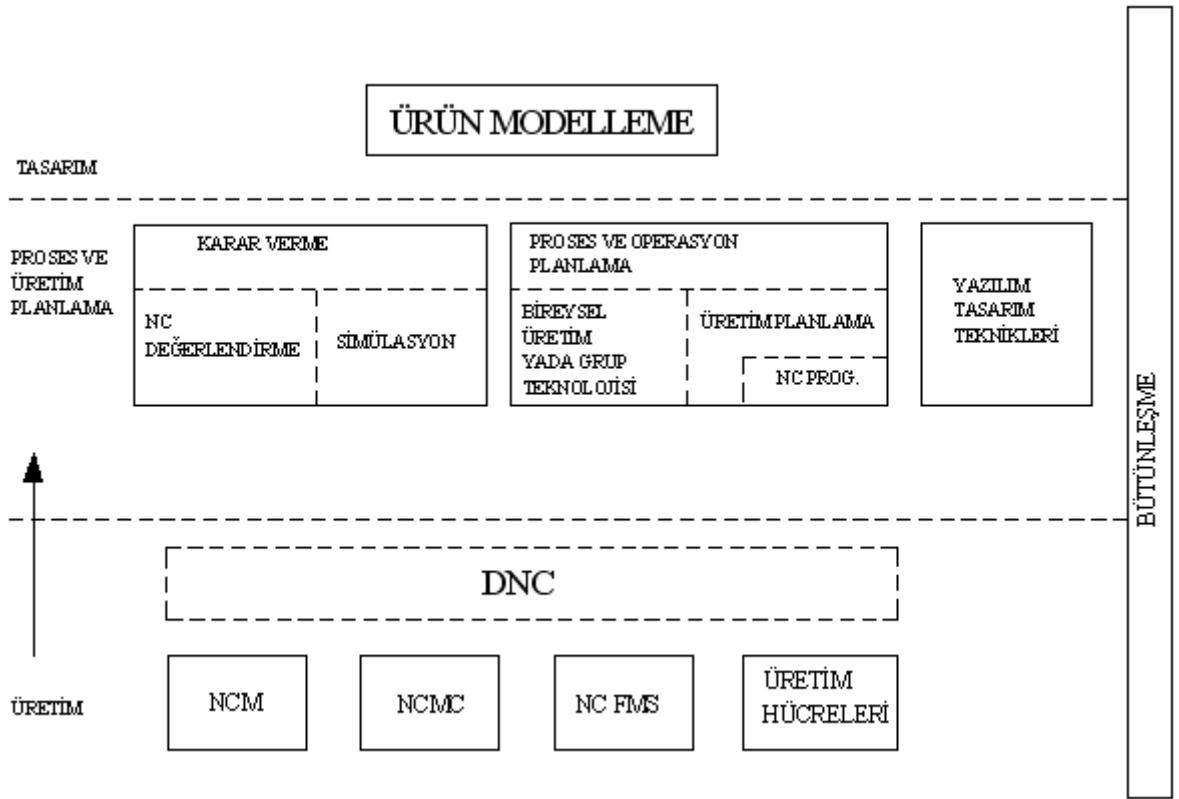
Dalarak kaba işleme için uygun takımların özellikleri ile kesme yönteminin artıları birleşince derinlikleri fazla olan parçalarda esneme minimum seviyeye indirilir. Genel olarak dalarak kaba işleme, derin cep ve olukların işlenmesinde, titreşimin sorun yarattığı işlemlerde avantaj sağlar. Ayrıca, eski takım tezgâhlarıyla kullanılması sorun yaratmaz ve düşük kapasiteli takım tezgâhlarında uygulanabilmesi avantaj sağlar. Trokoidal İşleme ise kaba işleme yönteminde bir yaklaşım olup, bu yöntemde doğrusal ilerleme ile işleme yerine sabit yarıçaplı eğrisel ilerleme yöntemiyle işleme sağlanır. Takım üzerine binen yükleri azaltmak için takım çapının tamamı parçaya dalmadan işlenmesi yöntemidir.

Trokoidal işleme metodunda, takım iş parçası ile hafif temas koşullarında (kesici takımın sadece bıçak ağzı teması) trokoidal bir yol izleyerek iş parçasının hassas bir şekilde dilimlenerek işlenmesini sağlar. Daha hızlı metal boşaltma sağlaması ve daha uzun takım ömrü elde etmek bu yöntemin sağladığı avantajlardır.

Bu yöntem ile takımın sadece yönü değişen sabit dairesel eğri çizerek ilerlemesi yüksek ilerleme hızının sürekli olarak korunmasını sağlar. Takım kesici kenarı ile malzeme arasında temas yüzeyi bilinen kesme yöntemlerine göre % 50 daha az olmasıyla birlikte zor parçaların işlenmesinde önerilen bir yöntemdir. Zor parçaların işlenmesinde yüzeye yakın dairesel derinliklere ihtiyaç duyulduğundan, kesme kuvvetlerini indirgemek suretiyle bunun sonucunda açığa çıkacak ısı seviyesini azaltmak ve böylece takım ömrünü uzatmak mümkün olmaktadır.

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ İMALAT (CAM)

CAM, kısaca, bilgisayarların üretim ortamında etkin bir şekilde kullanılabilmesidir ve bu teknoloji 1940 ve 1950'li yıllardaki nümerik kontrollü tezgâhların gelişim yıllarına dayanır. CAM, karar verme, proses ve operasyonel planlama, yazılım tasarım teknikleri ve yapay zeka, farklı otomasyon tipleriyle (NC-M, NC-MC, NC-FMS, NC İşleme Merkezleri) ve farklı realizasyon tipleriyle (CNC-Tek Birim Teknolojisi, DNC-Grup Teknolojisi) üretimi içine alan bilgisayar destekli üretime hazırlık olarak tarif edilebilir (Şekil2.1).



Şekil.2.1 Bilgisayar destekli üretim kavramı.

CAM'in günümüze kadar gelen gelişim indeksi ise kısaca şöyledir. 1950'li yıllarda NC üretim fikri, NC için APT dili. 1960'lı yıllarda endüstriyel ilk robot, etkileşimli bilgisayar grafikleri. 1970'li yıllarda CNC bilgisayarları, DNC/FMS, CAD/CAM, PLC cihazları ve hüresel kontrol, 3D CAD; 1980'li yıllarda katı modelleme, fabrika ağ sistemi, MAP/TOP, CIM, eş zamanlı mühendislik. 1990'lı yıllarda ise zeki üretim sistemleri. Genel olarak CAM tarihi 3 ana kaynaktan incelenebilir. Birincisi 1953 de Massachusetts Institute of Technology de yapılan nümerik kontrol araştırmaları ve elektronik veri işleme kapasitelerindeki dinamik artış, bu gelişime önemli bir dayanak noktası oluşturmuştur.

Böylece bilgisayar destekli programlama için yapılan çalışmalara nümerik kontroldeki gelişmeler yardımcı olmuştur. MIT tarafından geliştirilen ve ilk programlama dili olan APT, özellikle batılı endüstriyel ülkelerde daha sonraları yapılacak çalışmalara ve gelişmelere örnek teşkil etmiştir. İkinci önemli çalışma aynı zamanlarda diğer önemli bir alanda Soviet Academy of Sciences'de yürütülmekteydi. Bu çalışmaların amacı mühendislik projelerini rasyonalize etmek ve klasik takım tezgâhlarının üretimini planlamak için elektronik veri işlemeyi kullanmaktı. Üçüncü çalışma ise 1930'lardan beri Leningrad'da yaptıkları grup teknolojisi alanındaki bilimsel faaliyetleri modern teknoloji yardımıyla 1950'lerde devam ettiren bilim adamlarınca yapılıyordu.

Günümüzde tezgâh kontrol ünitelerinde kullanılan gelişmiş bilgisayarlı sistemler ile birlikte kapsamlı bilgisayar nümerik kontrol CNC takım tezgâhları mevcuttur. Nümerik mühendisliğindeki bu gelişmeler sadece üretim sektöründe dikkate değer değişimler yaratmamış, aynı zamanda üretim planlama ve tasarımda da bunun olumlu etkileri görülmüştür. Nümerik kontrol, bilgisayarların üretimde ve pazarlama proseslerindeki uygulamalarında sadece bir aşamadır.

Bilgisayar teknolojisi çeşitli üretim elemanlarına başarılı bir şekilde uygulanmıştır ve bunun sonucunda birçok bilgisayar destekli üretim sistemi ortaya çıkmıştır. Bir CAM sistemi üretim proseslerinin çeşitli aşamalarını izlemek ve kontrol etmek için hiyerarşik bir bilgisayar yapısı oluşturarak birçok üretim elemanını bünyesine alır.

CAM sistemleri ürünlerin oluşumunda iki ana alanda kendini gösterir. Bunlardan birincisi üretim diğeri ise pazarlama ve finansdır. Her bir alan direkt olarak bilgisayar tarafından kontrol edilen alt alanlara bölünmüştür. CAM sisteminin donanımı takım tezgâhlarının nümerik kontrolünü, muayene tezgâhlarını, bilgisayar ve ilgili cihazları içine alır. CAM yazılımı ise kontrol ve izleme operasyonlarında kullanılan bilgisayar programlama sistemlerini kapsar.

CAM'in Direkt uygulama alanları ile ilgili olarak aşağıdaki kapsam verilebilir.

- İzleme ve kontrol faaliyetleri
- NC
- PLC
- Üretim hücreleri

CAM'in Endirekt uygulama alanları için ise,

- Üretim planlama
- MRP
- Proses planlama
- Çizelgeleme
- Envanter
- Atölye düzeyi kontrolü

CAM'in önemli elemanları,

- CNC üretim ve programlama teknikleri
- Bilgisayar kontrollü robotlu üretim ve montaj
- Esnek üretim sistemleri
- Bilgisayar destekli muayene teknikleri (CAI)
- Bilgisayar destekli test teknikleri

Tüm bunların yanında Bilgisayar Destekli İmalatın (CAM) getirmiş olduğu kolaylıkları ortaya koyan avantajları için aşağıdaki özetleme yapılabilir.

- Üretim aşamasında daha az işgücü kullanılmasına rağmen daha yüksek ve verimli üretim oranları.
- Daha az insan hatası ile artan güvenilirlik.
- Üretilen her türlü mamullerde ve onların tasarımlarında kolaylık sağlayan çok yönlülük ve değişkenlik
- Artan üretim verimliliğinden dolayı maliyet tasarrufu ile artan stoklama ve montaj verimliliği ve etkinliğinden dolayı elde edilen faydalar.
- Verilerin saklanması ve bir veri tabanı oluşturulmasından dolayı üretim proseslerinde etkinlik.
- Gelişmiş ve mükemmel ürünler.

2.1 CAM'in Esasları

Bilgisayar Destekli İmalatın esas amacı; verilen bir parça grafiğine göre o parçanın işlenmesi için takım yolunun oluşturulmasıdır. Takım yolunun oluşturulması, parçanın işleme teknolojisi anlamına gelmektedir.

Bilindiği gibi bir parçanın bir işleme teknolojisi değil, birçok işleme teknolojisi olabilir ve bunlara karşılık gelen birçok takım yolları oluşturulabilir. Örneğin bir parçanın işlenmesi: delikler açma, genişletme, vida açma; düz yüzey işleme, çevresel işleme, çeşitli kanallar ve cepler açma gibi işlemlerden meydana gelmekle beraber; bunların kaba ve ince paso sayısının, ilerleme ve kesme hızlarının tayinini de içermektedir.

Bu işlemlerin hangi sırada yapılacağı işleme teknolojisinin önemli bir problemidir. Burada eldeki problem; yapılacak işlem için sarf edilecek en az maliyetle en az zamanda parçayı işleyen en iyi teknolojiyi tayin etmektir.

Günümüzdeki CAM programları bu hususu tam olarak çözmüş değildirler. Ancak yaklaşık bir çözüm olarak parametrik işlem denen bir yönteme gidilmiştir. Bu yönteme göre örneğin frezeleme işlemleri: çevre işleme, cep ve kanal açma, delik işleme gibi kısmi işlemlere ayrılmıştır. Bu kısmi işlemler optimum bir şekilde yapılmakta; ve tüm parçanın işlenmesi bu kısmi işlemlerin birbirine bağlanması ile gerçekleştirilmektedir.

Herhangi bir yüzeyin işlenmesi uygulaması için kesici takım çeşitli yönlere yönlendirilmesi gerekebilir. Ancak kesici takımı olası her durumda geçerli olan tek bir yöne yönlendirmek için birçok CAD sistemleri, APT programında yer alan ve aşağıda detayı verilen şu tekniği uygulamaktadırlar.

Bir nesne iki yüzeyin kesişimi boyunca sadece bir yolda hareket edebilir. Buna göre takım yolu: hareket yüzeyi, parça yüzeyi ve kontrol yüzeyi olmak üzere üç yüzey tarafından tayin edilir.

Hareket yüzeyi takımın her hareketinde değişen yani işlenen yüzeydir. Parça yüzeyi takım sürekli yönlendiren yüzeydir. Kontrol yüzeyi işleme yönünü değiştiren veya sona erdiren yüzeydir.

CAM programları iki işlem yapar: birincisi CAD ile oluşturulan parça grafiğine dayanarak takım yolunu meydana getirir; ikincisi ise genel bir çözüm olan takım yoluna dayanarak belirli bir CNC tezgâhının kontrol ünitesi için, post-prosesör denilen bir işlemle G kodlarına dayanan NC programını oluşturur.

2.2 CAM Aşamaları

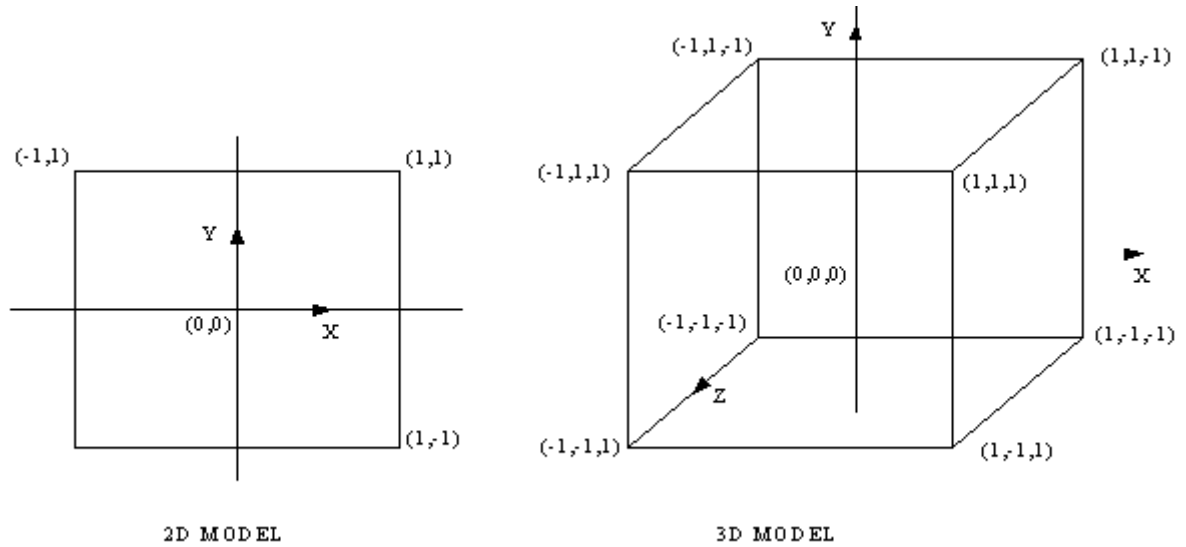
2.2.1 Modelleme

Çoğu modellemeler parçanın şeklini birbiri ile bağlantılı doğrularla gösteren tel kafesler yardımıyla yapılırlar. Sistemin kapasitesine bağlı olarak iki ya da üç boyutlu olarak modellenebilir. Gelişmiş bir geometrik modelleme tekniği üç boyutlu katı modelleme tekniklerinden problemleri ortadan kaldırmaya yeterlidir.

CAD geometrik modelleme prosedürü CAM'in NC teknolojisi ile yakından ilişkilidir. Çünkü esas olarak bu çizim bir parçanın işlenmesinde kullanılacaktır. Üç boyutlu katı modelleme tekniklerindeki gelişmeler ve buna benzer gelişmiş teknikler NC sistemleri ile olan bütünleşmeyi oldukça kolaylaştırmaktadır.

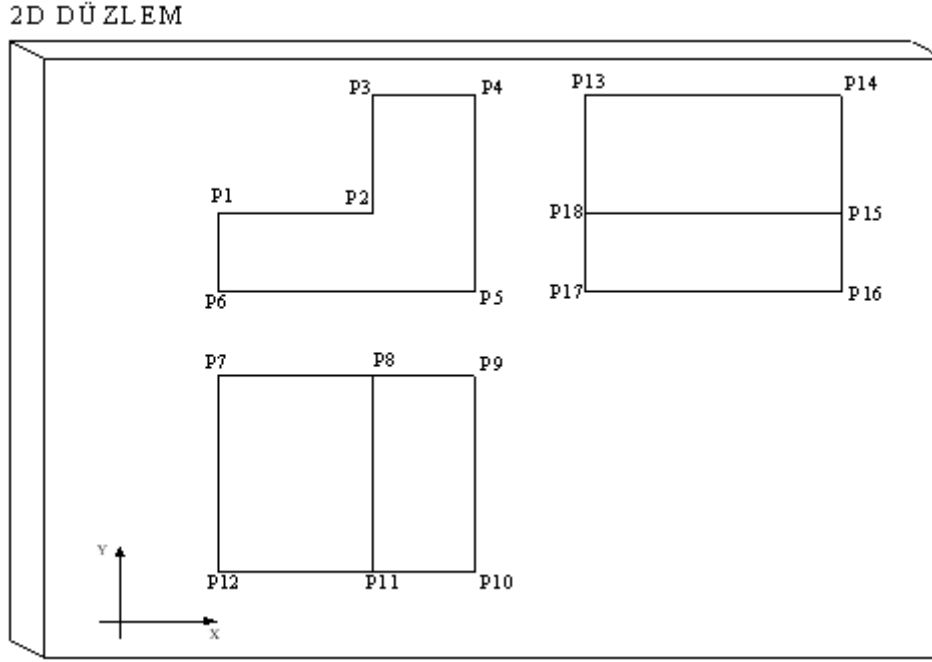
Bir model, CAD/CAM sisteminin bilgisayar hafızasında depolanan bir geometrik yapının matematiksel ifadesidir. 2D modeller sistem tarafından X ve Y Kartezyen koordinatları ile tarif edilebilen birçok nokta ile sınırlandırılmış düzlemsel yapılar olarak algılanır. 3D modellerde ise üçüncü kenar bir Z koordinatı ile belirlenir.

Şekil 2.2 de 2D bir kare modeli ile 3D kübik bir model karşılaştırılmaktadır. Şekil 2.3 de görülen şekiller, tümü de X-Y düzleminde bulunan ve toplam 18 nokta ile sınırlandırılmış üç farklı yapı olarak, bir 2D sistemi tarafından algılanabilir. Bunun yanında 3D bir sistem bu şekilleri aynı nesnenin 3D uzayda 12 nokta ile ifade edilen üç bakış yönünden tanımlanması şeklinde algılar (şekil 2.4)



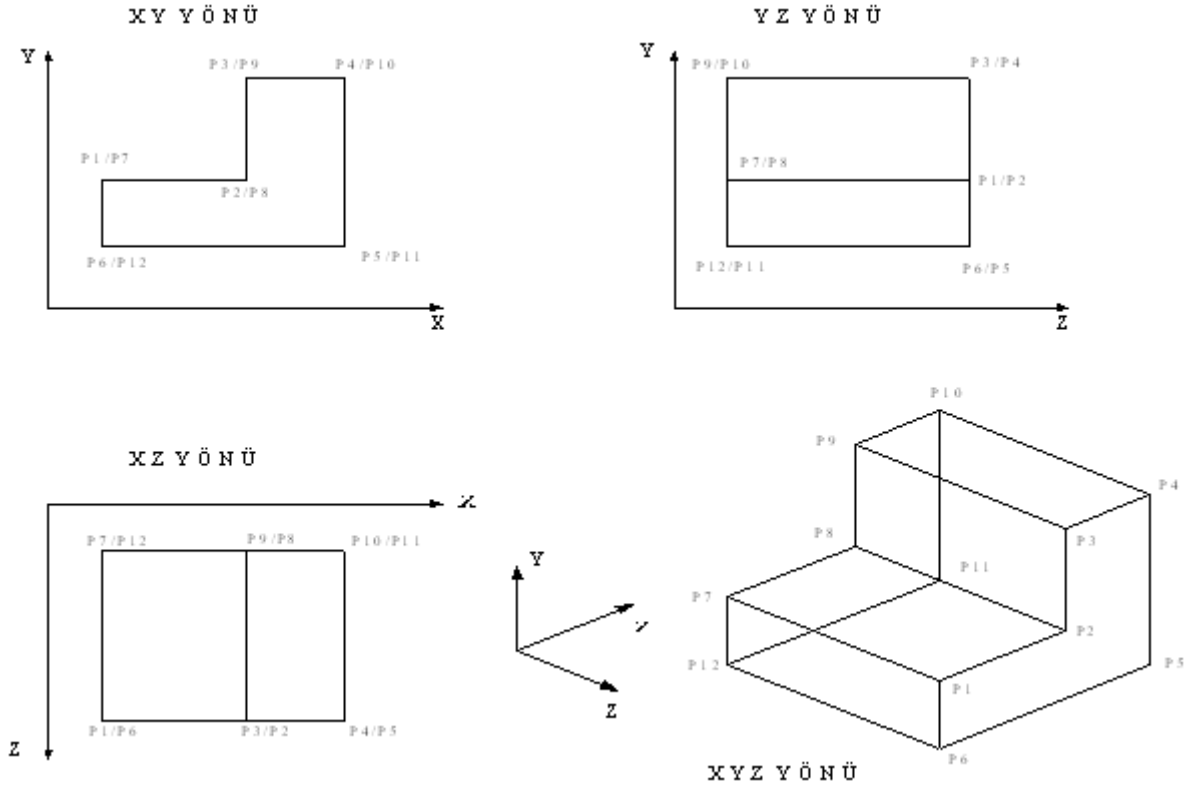
Şekil 2.2 2D ve 3D model karşılaştırılması.

Örneğin XY ve XZ görünüşleri çizildiğinde, YZ yada XYZ görünüşleri otomatik olarak ekranda gösterilebilecektir. Daha sonra 3D XYZ görünüşü seçilen herhangi bir eksen etrafında döndürülebilir ya da 2D görünüşlerde kullanılan tekniklere benzer algoritmalar kullanılarak değişik yapılar elde edilebilir. Bu aşamada yapılaş sırası değişebilir, yani önce 3D çizim yapıp daha sonra istenen 2D görünüş otomatik olarak elde edilebilir.



Şekil 2.3 2D sistemde üç bakış yönü.

3D imkanlarına sahip sistemlerin en önemli dezavantajı, hem yazılımın hem de bu yazılımın gerektirdiği donanımın oldukça yüksek maliyete sahip olmasıdır. 3D modelleme aynı zamanda oldukça zaman alıcı operasyonları da beraberinde getirir. Buna karşılık bir üretim geliştirme ortamı göz önüne alındığında 3D modellemenin birçok tasarım ve üretim uygulamalarında etkinliği büyük ölçüde artırdığı görülmektedir. 3D modelleme özellikle tesis planlama ve mimarlık gibi büyük karmaşık çizimlerin oluşturulmasında önemli avantajlar sağlar. Ayrıca takım yollarının belirlenmesi ve robot simülasyonunu da kapsayan bütünleşik CAD/CAM sistemlerinin en önemli elemanıdır. Bazı 3D modelleme sistemleri ağırlıklar, ağırlık merkezleri, momentler gibi fiziksel özelliklerin otomatik olarak analiz edilmesini de sağlarlar. Tüm görünüşler arasında otomatik veri bağlantısı olduğundan, 3D modelleme tasarım prosesi boyunca her aşamada çok sayıda düzeltmenin yapılabilmesine imkân tanır. CAD/CAM sistemlerinde 3D modelleme prosedürleri üç sınıfta incelenir. Bunlar, Tel-Kafes Modelleri, Yüzey Modelleri (Biz bununla ilgileneceğiz) ve Katı Modeller.



Şekil 2.4 3D görünüş.

3D modelleme teknikleri ise,

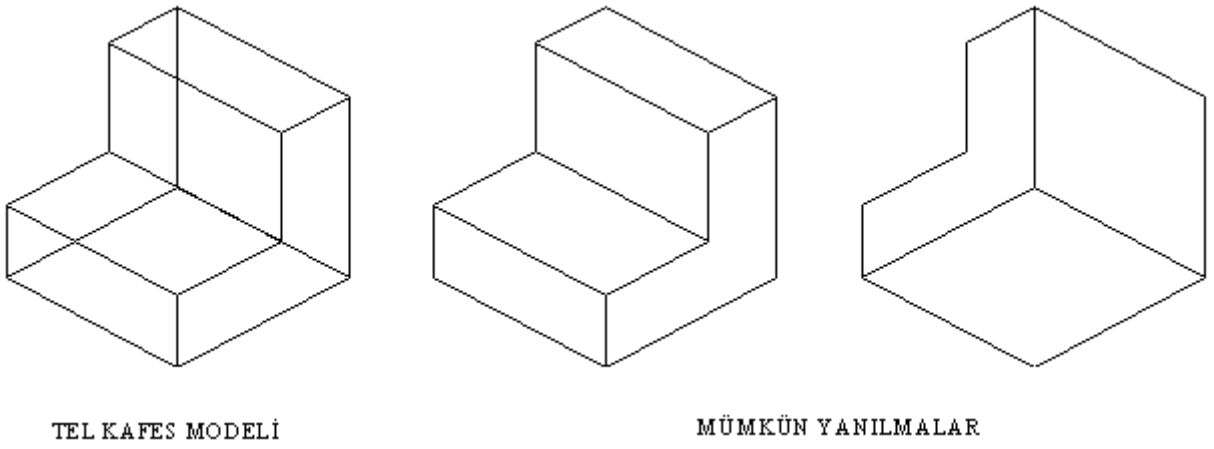
- Tesis planlama ve yerleştirme düzenleri,
- Mimarlık,
- Takım yolu (İlgilendiğimiz kısım) ve robot simülasyonu,
- Otomatik proses planlama, parça sınıflandırma, yapay zeka sistemleri gibi proseslerle bağlantı yapılmasında kullanılır.

2.2.1.1 3D Tel-Kafes Modelleme

Bir tel-kafes modeli noktalar ve doğrular yardımıyla ifade edilir. Modellemenin en alt düzeyidir ve bazı önemli kullanım kısıtlarına sahiptir. Bunların çoğu doğrular arasındaki yüzeylerle ilgili bilgi eksikliğinden ve katı nesnenin içi ve dışı arasını ayırt etme zaafından ortaya çıkar. Bilgisayar hafızasına diğer iki teknikten daha az bağımlıdır ve basit yapıların modellenmesine uygundur. Bir tel-kafes modeli, bir nesnenin en basit geometrik modelidir. Sağladığı avantajlar şöyle özetlenebilir,

- Tel-kafes modelleri 2D tasarım ve çizim proseslerine çok uygundur ve 2D çizim ile bütünleştirilmesi çok kolaydır.
- CAD sistemlerinin büyük bir çoğunluğunda kullanılmaktadır ve kullanımı çok kolay olup ucuzdur.

Tel-kafes modellemenin en yaygın uygulamalarından biri örneğin 2 eksenli ve 3 eksenli frezeleme gibi basit işleme operasyonları için 3D takım yolu simülasyonlarının gösterilmesinde kullanılmasıdır. Tel-kafes modellemenin kullanım kısıtları ise şöyle özetlenebilir,



Şekil 2.5 3D görünüşteki yanılgılar.

İlk olarak belirsizlikten bahsedilebilir. Tel kafes modellerinin en büyük dezavantajlarından biri bakış düzlemi ve oryantasyon belirsizliğinin neden olduğu yanılgıdır. Örneğin şekil 2.4 deki 3D görünüşü şekil 2.5 de görüldüğü gibi ya yukarıdan ya da aşağıdan bir görünüş olarak yorumlanabilir.

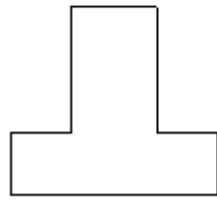
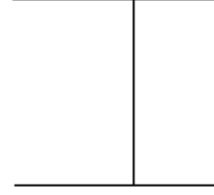
Bu tel-kafes prensibinin doğal sonucu olarak karşılaşılan ve yanılgıya sevk eden önemli bir sonuçtur. Bu tür modeller katı yapıları kavrama yeteneğine sahip olmadıklarından görünen ve görünmeyen (gizli) kenarlar arasındaki farkı ayırt edemezler. Görünmeyen doğruların kaldırılması, her doğruyu ayrı ayrı düzelterek el ile yapılabilir.

Bu tür zor bir iş aslında çok daha güç bir işleme öncülük eder, çünkü bir görünüşte gizli hale dönüştürülen kenarlar, diğer bakış yönlerinde görünen doğrular olarak görülmek zorundadır. Oysa silinen herhangi bir doğru otomatik olarak tüm görünüşlerden silindiği için, bu pratikte başarılmaz (şekil 2.6).

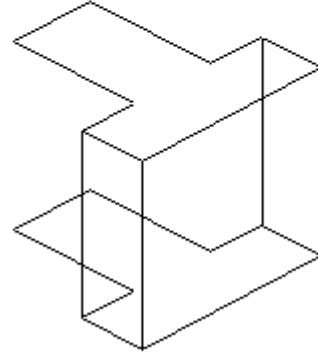
XY YÖNÜ DOĞRU



YZ YÖNÜ YANLIŞ

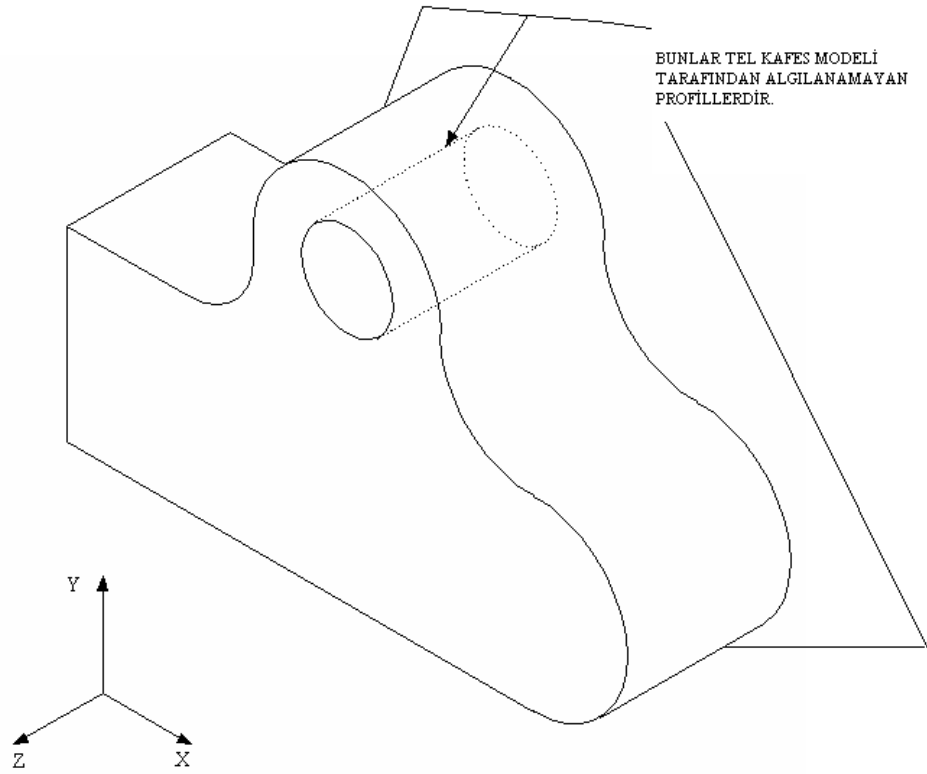


XZ YÖNÜ DOĞRU

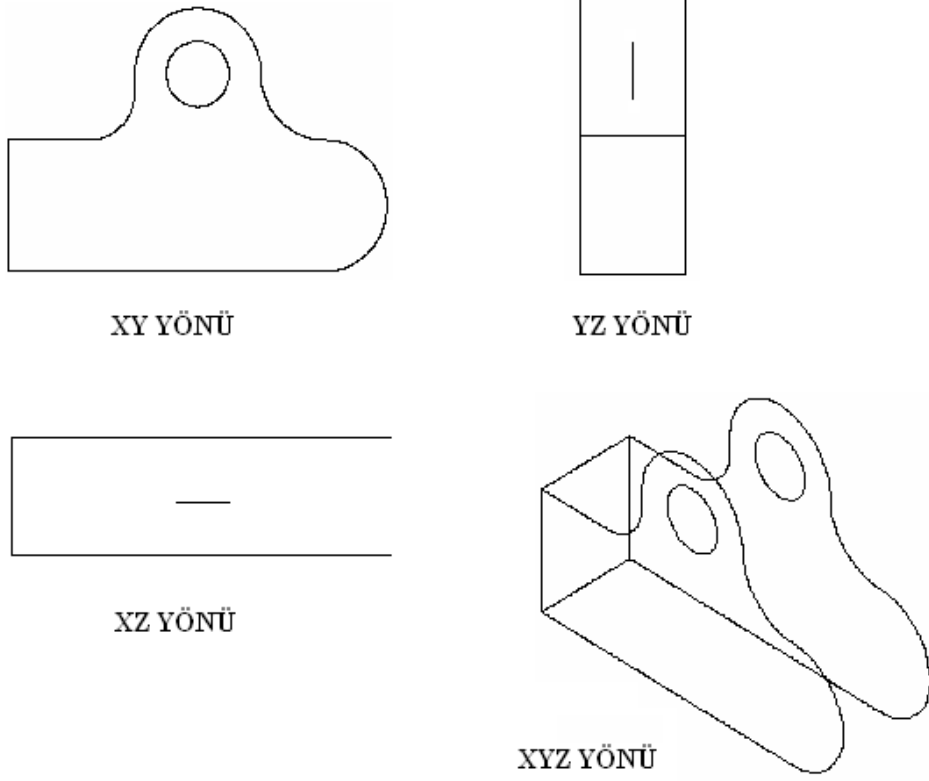


XYZ YÖNÜ YANLIŞ

Şekil 2.6 Görünmeyen doğruların kaldırılmasının etkileri.

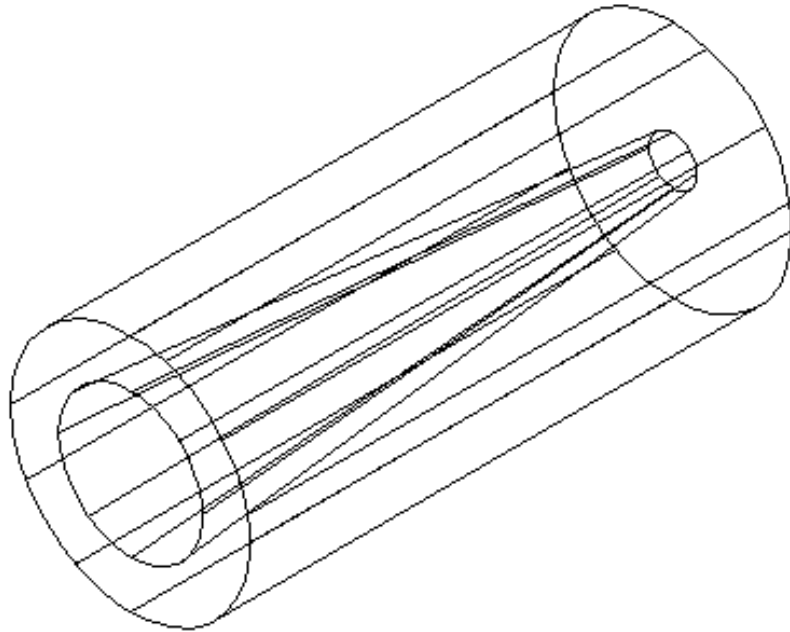


Şekil 2.7.a Gerçek 3D görünüş.



Şekil 2.7.b Tel kafes görünüşleri.

Diğer bir kısıt eğik profilleri tanıma yeteneksizliğidir. Silindirik yapıların uzunluğuna olan profilleri, uzayda tanımlanmış olan noktaları arasında sabit kenarlara sahip değildir.



Şekil 2.8 Doğrularla eğrisel bir yüzeyin ifade edilmesi.

Bu yüzden yönüne bağlı olarak kullanıcı tarafından değişik yapılar halinde görünürler. Dolayısıyla tel-kafes elemanları olarak anlaşılmazlar ve göz ardı edilirler. Şekil 2.7 de eğik profillere ve gerçekte 3D modelde görülebilecek bir kör deliğe sahip bir şekli ifade etmektedir.

Doğal olarak tel-kafes çizimlerinde bunlar yanlışlara yol açmaktadır. Eğik profilleri düzenli aralıklara sahip gölge (aslında olmayan) doğrularla göstermek mümkündür, fakat bu aslında olmayan doğrular çizimde farklı yanlışmalara neden olabilir. Şekil 2.8 de böyle bir yapı görülmektedir. Bileşenler arasındaki karışıklıkları belirleme yeteneksizliği diğer bir kısıt olarak ortaya çıkar.

Tel-kafes modelleri yüzeyler hakkında yeterli bilgiye sahip olmadıklarından nesne yüzeyleri arasında olabilecek istenmeyen temasların otomatik olarak belirlenmesi gerçekleştirilemez. Bu durum mekanizmaların 3D kinetik analizleri, robot simülasyonu ve tesis tasarımı gibi uygulamalarda ciddi olarak karşımıza çıkar (Takım yolu simülasyonlarında takım yollarının çakışması gibi).

Fiziksel özelliklerin hesaplanmasındaki güçlükler de bir kısıt olarak göze çarpar. Bu, yüzey verisinin eksikliğinin diğer bir sonucudur. Bu yüzden doğru yapı, hacim ve bunun yanında çok temel bileşenler gereken doğrulukta belirlenemez.

Kütle, yüzey alanı, ağırlık merkezi yada moment gibi özellikler oldukça güvenilmezdir. Tel-kafes modelleme ile ilgili bahsedeceğimiz son problem otomatik gölgelendirme imkanının bulunmamasıdır. Renk tonlarının çeşitliliği ve gölge efektleri bir kullanıcının en önemli yardımcılarıdır ve buna bağlı olarak ta 3D modellemede önemli bir yer tutarlar. Tel-kafes modellemede yüzey kavramı olmadığından bunların uygulanması da düşünülemez

2.2.1.2 3D Yüzey Modelleme

Yüzey modelleri noktalar, doğrular ve yüzlerden oluşurlar. Tel-kafes modellerinden daha yüksek düzeyli bir model grubudur ve çok daha fazla yönlülüğe sahiptir. Tel-kafeslere göre belirgin özellikleri ve avantajları şunlardır,

- Kompleks eğik profilleri tanımlayabilme ve gösterme yeteneği,
- Yüzleri algılayabilme ve bundan dolayı 3D de yüzleri gölgelendirebilme imkanı sağlayabilme yeteneği,
- Delikler gibi özel yapıları algılayabilme kabiliyeti,

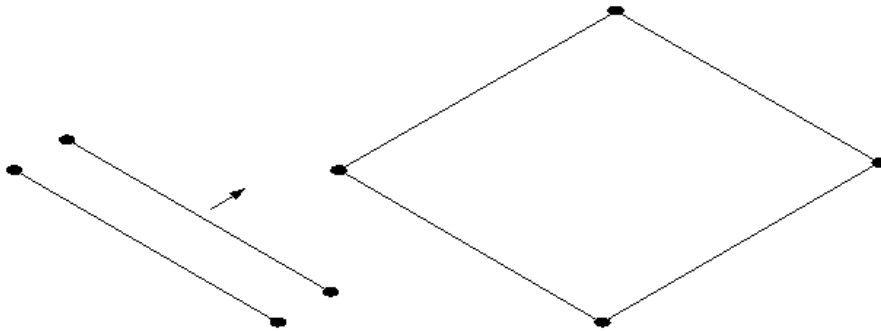
- CNC üretimi için kolaylıkla arayüz oluşturabilmesi sayesinde çok eksenli işleme operasyonları ve kompleks yapılar için 3D olarak takım yolu simülasyonlarının yapılabilmesine imkan tanınması,
- Robot iletim simülasyonunda kolaylık.

Dezavantajları yada kullanım kısıtları ise şöyle sıralanabilir,

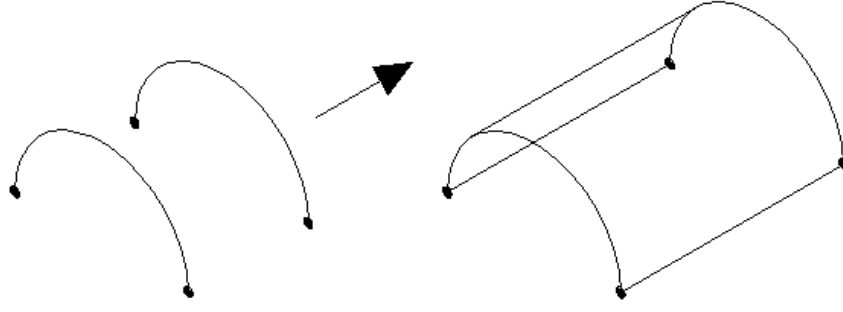
- Katı hacimleri anlama ve tanımlayabilmekte güçlük,
- Bazı yüzey modellerinden yüzey tariflerinin doğruluğuna bağlı olarak güvenilir hacimsel verileri elde edemeyebilir,
- Gizli doğrular kolaylıkla kaldırılamaz.

Yüzey modelleri gösteriliş doğruluğunu artırmak amacıyla kafes yapılar ve parçalar (mesh ve patch) kullanırlar. Yüzey modelleme 16 bitlik sistemler kullanılarak çalıştırılabilirler. Fakat 32 bitlik mini bilgisayarlarla daha etkin sonuçlar alınabilir. Katı modellemeden daha az gelişmiş bir yapıya sahip olmalarına rağmen otomobil kasaları gibi kompleks eğimli yüzeylerin tasarımı ve üretimini de içine alan bir çok uygulama için oldukça iyi bir seçenektir hatta günümüz teknolojisi düşünüldüğünde tek seçenek olarak ta düşünülebilir. Yüzey tiplerinden oluşturma bakımından (yani çeşitlilik açısından değil) kısaca bahsetmek gerekirse:

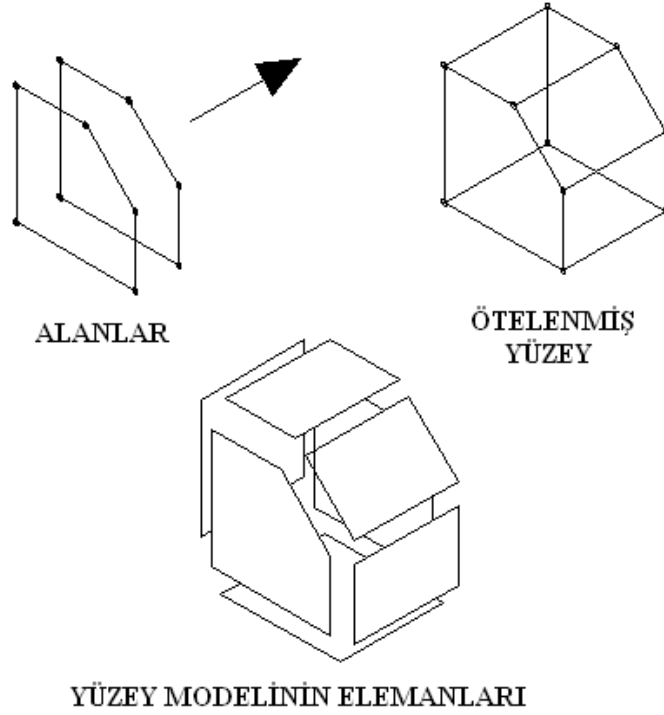
İlk olarak basit geometrik yüzeyleri ele alalım. Düzlem yüzeyleri bir doğru çizerek ve daha sonra benzer bir şekilde tanımlanan diğer bir doğruyu 3D uzayda belirli bir uzaklık kadar öteleyerek basit bir şekilde oluşturulabilir (Şekil 2.9). Benzer şekilde silindirik ve konik yüzeyler, 3D uzayda daireleri ve yayları öteleyerek oluşturulabilir (Şekil 2.10). Şekil 2.11 de görüldüğü gibi alanlar da aynı zamanda 3D nesnelerin oluşturulmasında kullanılabilir.



Şekil 2.9 Ötelenmiş düzlemsel yüzey yapısı.



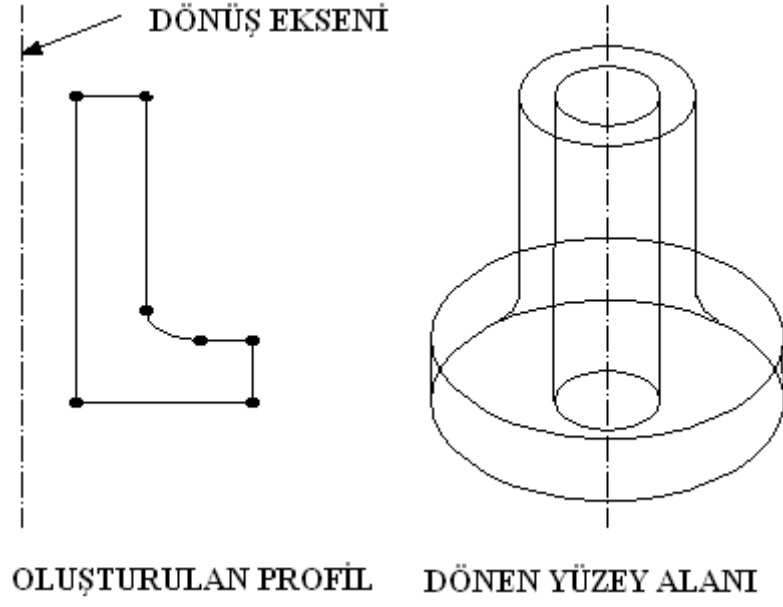
Şekil 2.10 Ötelenmiş eğrisel yüzey yapısı.



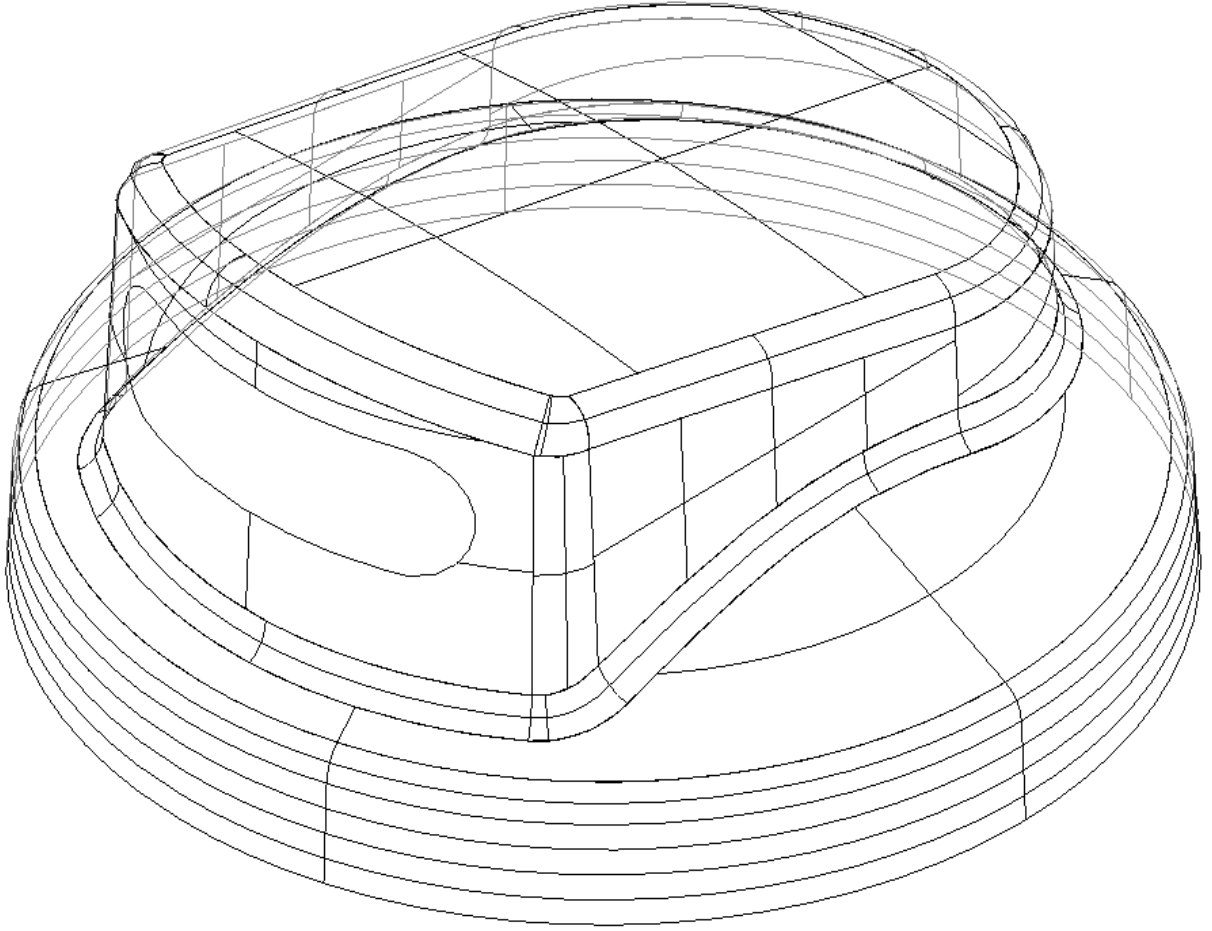
Şekil 2.11. 3D bir nesnenin ötelenmiş yüzey alanı.

Dönel cisimlerin yüzeyi ise, basit olarak bir düzlem şekli oluşturularak ve daha sonra tanımlanan bir eksen etrafında bunu döndürerek yapılabilir (dönen öteleme hareketi). Tekrar belirtmek gerekirse, burada sadece yüzey alanları meydana getirilebilir, hacimler yapılamaz (Şekil 2.12).

Karışık yapıların oluşturulabilmesi yüzey modellemedeki en kullanışlı tekniklerden biridir. Aynı zamanda yüzeylerin tarif edilmesi gibi iki yüzey arasında arakesit kurmak da mümkündür. Şekil 2.13, 3D karmaşık bir yapının şekildeki örnek parçada olduğu gibi kare ve silindirik yüzeyler arasında ne şekilde oluşturulabileceği görülmektedir.



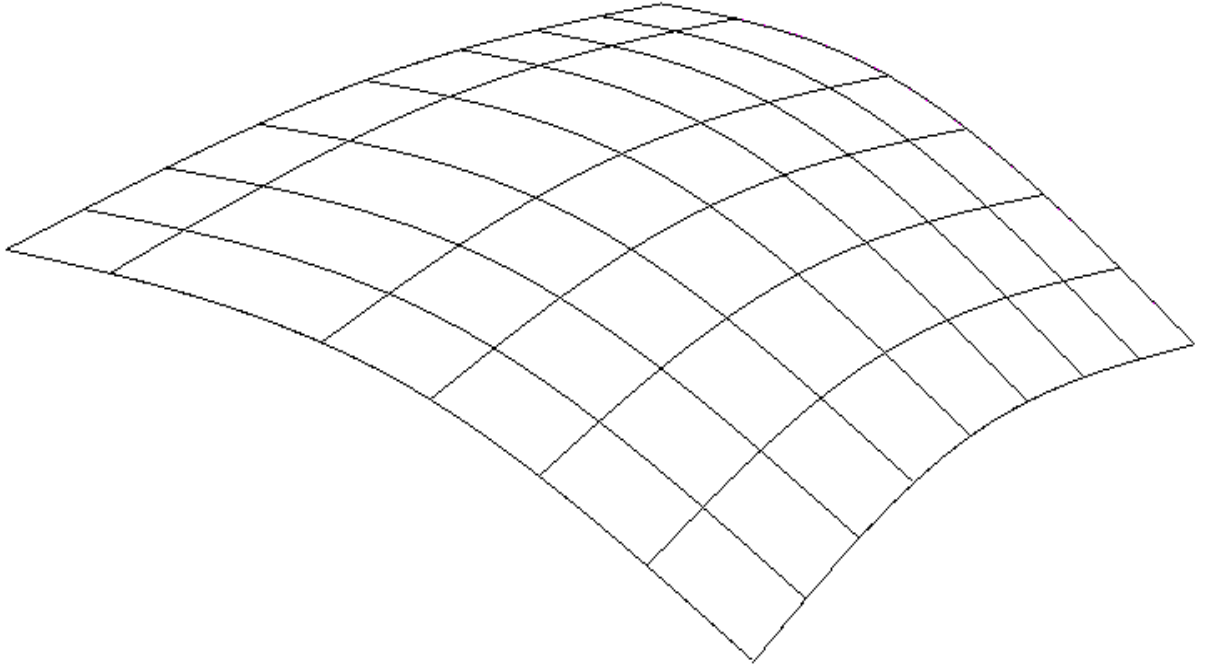
Şekil 2.12 Dönel öteleme hareketi ile oluşturulan bir yüzey.



Şekil 2.13. 3D farklı eleman karışımlarından oluşan bir yapı (blending).

Analitik yüzeyler X, Y ve Z koordinatları yardımıyla tek bir matematiksel eşitlik yardımıyla tanımlanabilir. Profiller matematiksel esaslara göre oluşturulur ve bunlar üzerine otomatik olarak yüzeyler yerleştirilir.

Gelişmiş yüzey modelleyicileri, karmaşık yüzeyleri uzunlamasına ve çapraz doğrularla çevrelenmiş küçük yüzey parçalarından oluşan bir ağ yapısında olduklarını farz ederek tanımlamaya çalışır (şekil 2.14). Her bir yüzey parçasının şekli topolojik olarak bir dikdörtgen olarak tanımlanır (yani yatay yada dikey dört kenara sahip).



Şekil 2.14 Yüzeyin ağ şeklinde (patch) bölünmesi.

Matematiksel olarak yüzeyleri görüntülemek için parametrik denklemler kullanılmaktadır.

Örneğin genel denklemi,

$$ax+by+cz+d=0 \quad (2.1)$$

olan bir düz yüzeyin parametrik denklemi,

$$P_{mn}=(1-m-n)P_{00}+mP_{10}+nP_{01} \quad (2.2)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada P_{mn} , yüzey üzerinde genel nokta P_{00} , P_{10} , P_{01} ise kontrol noktalarıdır. Görüldüğü gibi düz bir yüzeyi tayin etmek için P_{00} , P_{10} , P_{01} olmak üzere üç noktanın verilmesi yeterlidir. Bu üç nokta yüzeyin iki kenarını açıklar, diğerleri bunlara göre hesaplanarak görüntülenir. Benzer şekilde diğer yüzeylerde hesaplanır.

2.2.1.3 3D Katı Modelleme

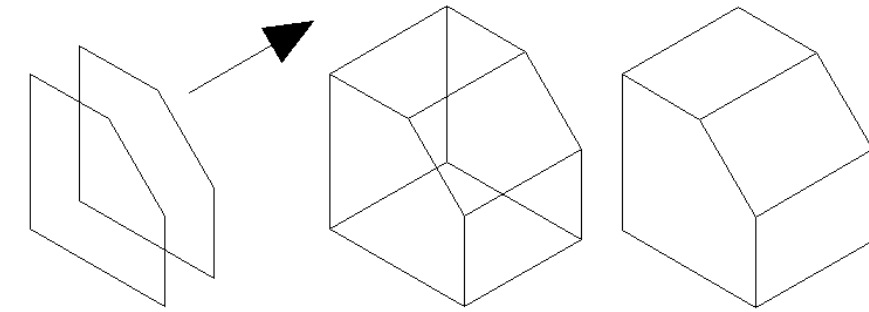
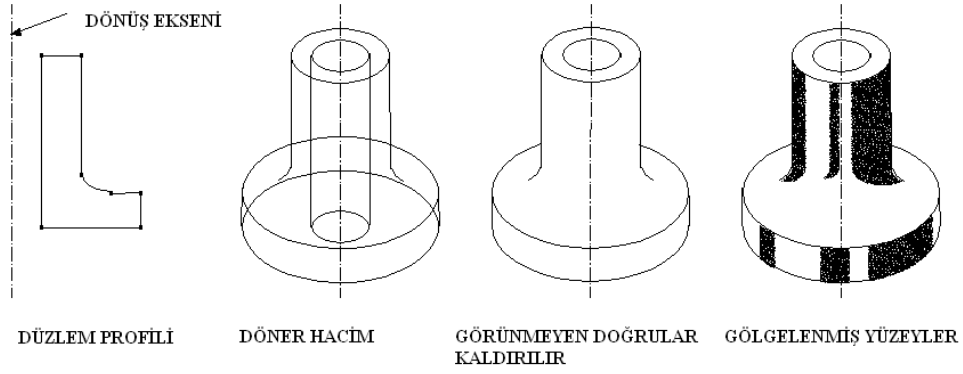
Bir katı model, bir parçanın hacimsel şekli ile tarif edilir. Bunlar yardımıyla üç boyutlu geometri tanımlanabilir. Kenarlar ve yüzeyler parçanın tarifi için gereklidir. Bu teknik en yeni ve en kapsamlı 3D modelleme tekniğidir. Katı modelleme tekniklerinin avantajları şunlardır,

- Tüm belirsizlikleri ve algılama güçlüklerini ortadan kaldırır,
- 2D çizimlerin otomatik oluşturmasını sağlayabilir,
- Görünmeyen doğruları ifade etme sıkıntısını tamamen ortadan kaldırır,
- Parçaya ait kütleli özelliklerin gösterilmesinde ve etkin bir yapıda sonlu eleman oluşturulmasında analitik avantajlara sahiptir,
- Sonlu eleman ağlarının oluşturulmasında etkinlik sağlar,
- Takım yollarının ve robot hareketlerinin simülasyonunda kolaylık getirir.

Katı modellemenin bazı kısıtları ise şunlardır,

- Donanım ve yazılım maliyeti,
- Çalışma zamanı,
- Operatör eğitim ve seçimi, özellikle 2D çizim için gerekenden çok fazladır.

Şekil 2.15 de katı modellemeye ait bazı örnekler görülmektedir. Katı modellemede parça olduğu gibi yani içi dolu olarak gösterilir. Katı modellemede parçanın hacmi, ağırlığı, kütleli momentleri hesaplanabilir ve CAM programları uygulanabilir. Katı modellerini oluşturmak için ilk olarak katı geometri konstrüksiyonu (Constructive Solid Geometry, CSG) veya sınır yöntemi ile parçanın esas kısımları oluşturulur. Katı geometri konstrüksiyonu primitif denilen ve bilgisayar belleğinde hazır bulunan modellere dayanır ki bunlar, kutu, koni, silindir, küre, simit ve takozdur. Bunların görüntülenmesi kontrol noktalarını örneğin bir koni için taban merkezi, yarıçapı ve koninin yüksekliği verilerek gerçekleştirilir. Sınır yönteminde ise ekstrüzyon ve dönme yöntemleri kullanılır. Örneğin ekstrüzyon yöntemi ile 2 boyutta yapılan bir dişli çark katı modele dönüştürülebilir (şekil). Benzer bir şekilde bir profil belirli bir yöne süpürülerek bir borunun katı modeli oluşturulabilir. Dönme yöntemi ile önceden yapılan bir profil bir eksen etrafında döndürülerek elde edilir. Bileşik modeller adını taşıyan nesnelerin katı modelleri, kısmi modellerin birleştirme, çıkarma ve kesişme işlemleri ile oluşturulur.



Şekil 2.15 Katı modelin dönme ve öteleme metodu ile oluşturulması.

2.2.2 Teknolojik Seçimler

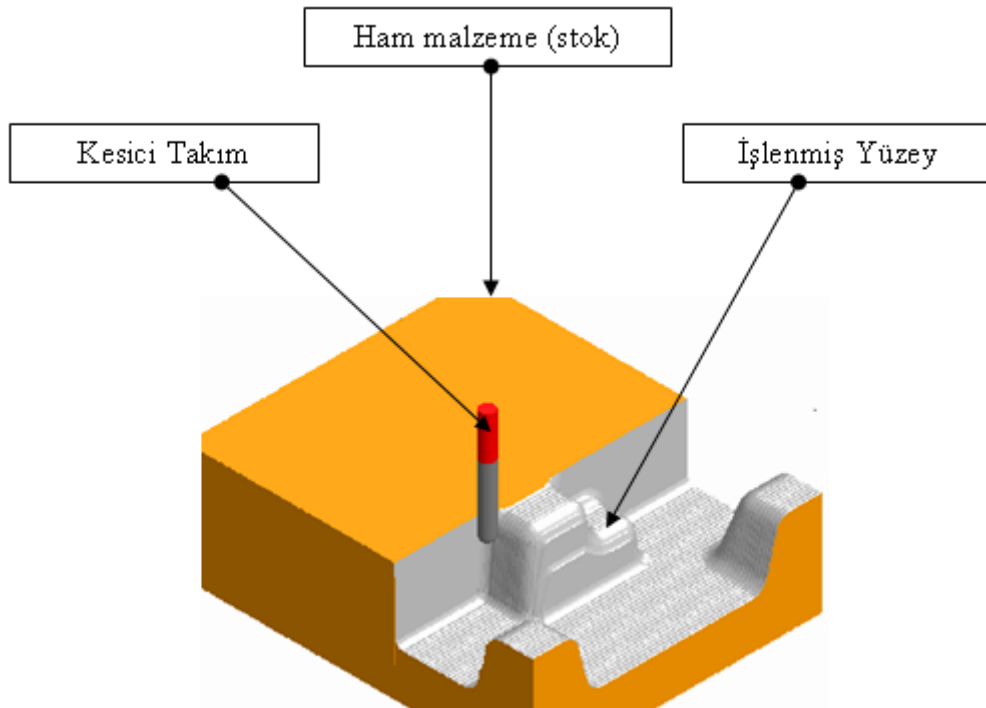
Kullanıcı tarafından tasarımları ve çizimleri yapıp bitirildikten sonra, CAM program modüllerine geçilir. Bu aşamadan sonra kullanıcının işleme operasyonlarında tam bir kontrole sahip olması ve veri girişinin mümkün olduğunca esnek bir şekilde yapılması gereklidir. Üretim alanında NC modülleri en önemli rolü oynar. Kullanıcı ve tezgah arasındaki iletişim gereklidir, fakat modüllerden istek geldiğinde bilgi transferi yapıldığından bu durum oldukça minimize edilmiştir. Temel işleme operasyonları belirlendikten sonra, gereken işleme komutlarını oluşturmadan önce parçanın kaba işlenmesinin gerekip gerekmediği belirlenir. Bunlar tamamlandıktan sonra kullanıcının girdiği bilgiler doğrultusunda NC parça programları oluşturulur. CAM sistemlerinde takım yolu; hareket, parça ve kontrol yüzeylerinin geometrisini ve işleme koşullarını açıklayan bir program ile gerçekleştirilir. Bu program APT (Automatically Programmed Tools) veya APT'ye dayalı CAM sistemine ait özel bir program olabilir. Operatörün bu programı bilmesi gerekmez. O sadece CAD ile oluşturulan parça grafiğın üzerine aşağıda açıklanan bir takım işleri yapar ve CAM programı otomatikman takım yolunu oluşturur ve ekranda görüntüler. Buna göre şu işlemler yapılır: CAD sisteminde oluşturulan parça CAM sistemine aktarılarak işlenecek yüzeyler, işleme koşulları, açıklanır, takım bilgileri belirtilerek takım yolu oluşturulur.

2.2.3 Takım Yolları Oluşturulma İşlemleri

Modern imalat endüstrisinde verimliliği artırmak için CAD/CAM sistemlerinin kullanılması önemli bir kriterdir. Birçok CAD/CAM sisteminde otomobil parçaları, oyuncaklar, kalıp vb. gibi serbest şekilli yüzeylerden oluşan parçaların modellenmesi mümkündür. Bu parçalar genellikle, bir ham (stok) malzemedan kaba işleme (rough machining), ince işleme (finishing machining) ve parlatma (polishing) işlemleri ile üç adımda imal edilirler.

Kaba işlemede stok malzeme, ince işleme için bütün yüzeylerde aynı miktarda malzeme kalacak şekilde işlenir. İnce işlemede ise, istenilen yüzey toleransı elde edilecek şekilde parça yüzeyi işlenir. Kalıp imalatçıların yapmış oldukları araştırmalara göre tüm işleme zamanının % 8–16'sını kaba işleme, % 27–39'luk kısmını ince işleme ve %13–23'ünü ise parlatma işlemi oluşturmaktadır.

Görüldüğü gibi, ince işleme ve parlatma işlemi tüm işleme zamanının büyük bir kısmını almaktadır. O halde işleme süresini ve maliyeti azaltmak için, ince işleme ve parlatma işlemleri geliştirilmelidir. Bu nedenle daha çok ince işleme için geliştirilen takım yolu oluşturma teknikleri ele alınmıştır.

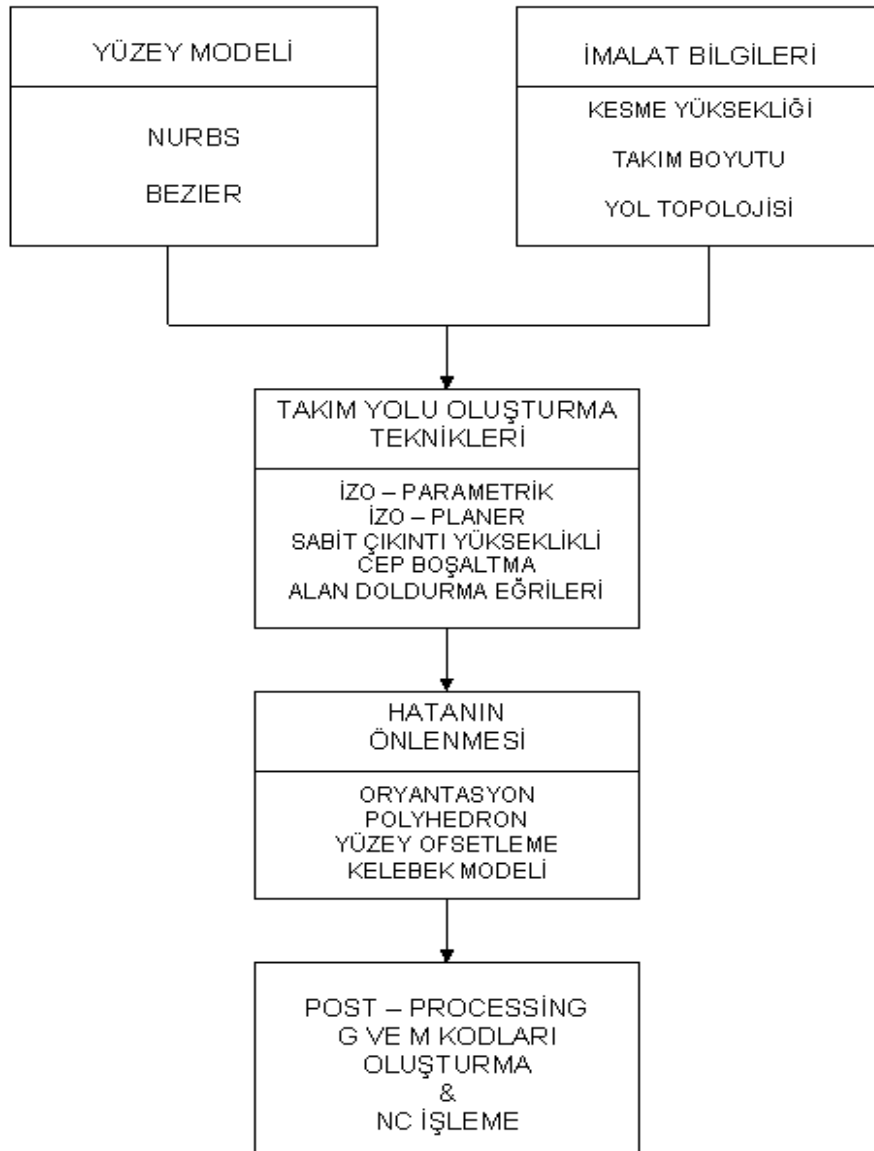


Şekil 2.16 Ham malzemenin işlenmesi ve işleme parametreleri.

2.2.3.1 Güncel Takım Yolu Oluşturma Aşamaları

Serbest şekilli yüzeylerde takım yolu oluşturmak zordur. Bu nedenle 1980’li yıllardan başlayarak bugüne kadar, özellikle karmaşık şekilli yüzeylerde takım yolu oluşturma konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Günümüze kadar yapılan bu araştırmalar sonucunda, bugün artık takım yolu oluşturma metodunda üç aşamalı bir yaklaşım benimsenmiştir.

İlk aşama, verilen yüzey geometrilerini ve bunların işleme ihtiyaçlarını esas alan takım yolu oluşturma şeklindedir. İkinci aşamayı ise, ilk aşamada belirlenmiş olan yol formlarında olması mümkün takım dalması gibi problemleri fark etmek, gözlemek ve düzeltmek işlemleri oluşturur. Üçüncü aşamada ise, NC kontrolleri yapılır ve özel işleme G kodları oluşturulur.

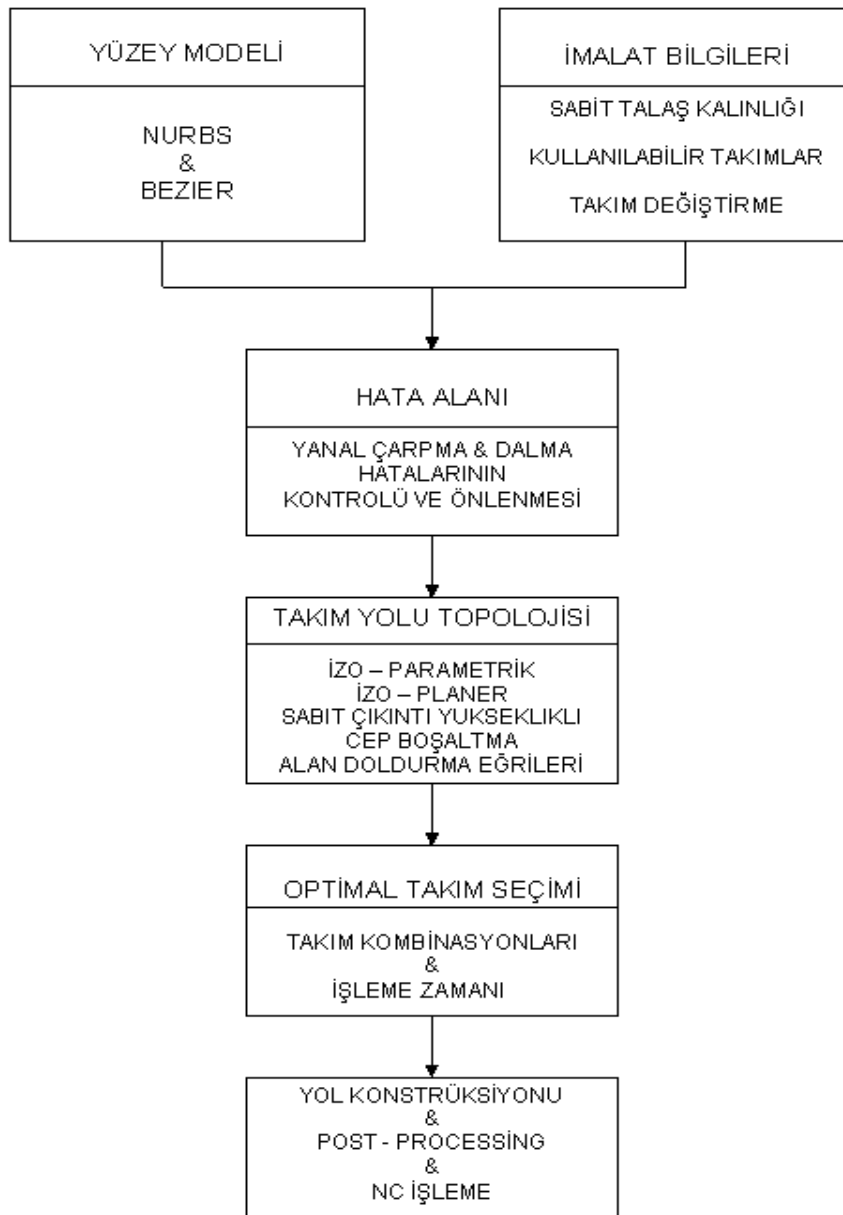


Şekil 2.17 Günümüzde kullanılan takım yolu oluşturma metodu aşamaları şeması.

2.2.3.2 Yeni Takım Yolu Oluşturma Aşamaları

Optimal takımlar ve yol topolojisi kullanımıyla, işleme hızını iyileştirmek (geliştirmek) amacıyla 3 eksenli bir işleme için yeni bir takım yolu oluşturma şeması (projesi) önerilmiş ve bu Şekil 2.18 de gösterilmiştir.

Bu yeni şemanın kullanılan diğer şemaya göre mevcut farklılıkları, dalma ve yanal çarpma hatalarının ilk aşamada kontrol ediliyor olmasıdır. Bu yeniden düzenleme kesinlikle doğrudur. Çünkü 3 eksenli işlemede dalma ve yanal çarpma problemleri sadece yüzeye ve takım geometrisine bağlıdır. Bu aşamanın sonucunda, artık boyutu ne olursa olsun her bir takım için yüzey alanlarından faydalanılabilir.



Şekil 2.18 Optimal takım boyu seçimli yeni bir takım yolu oluşturma şeması.

Bir sonraki aşamada, optimal takım yolu topolojisi dalma alanının şekline göre seçilir. Takım yolu topolojisini otomatik olarak seçmek mümkün olmakla beraber, yapılan bu araştırmalar interaktif kullanım metodunu benimsemektedir.

Üçüncü aşama, en kısa işleme süresini sağlayabilmek amacıyla uygun takım kombinasyonunun seçilmesi ile ilgilidir. İşlenecek yüzey için takım değişimi olmaksızın dalma problemine neden olmayacak en büyük takım seçilmelidir. Aksi takdirde, yani eğer bu mümkün değilse en kısa işleme süresini optimal olarak sağlayabilecek takımların farklı kombinasyonlarının seçilmesi gerekir. Bir modelin tahmin edilebilen işleme süresini iyileştirmek takım boyu, besleme miktarı, önerilen kesme yüksekliği ve hedeflenen yüzey bölgesine bağlıdır.

Son aşamadaki amaç ise, takım yollarındaki kesin serbest dalmayı, yüzey alanları, kesme yüksekliği ve yol topolojisinden faydalanarak konstrüksiyona uygun optimal takım boyunun belirlenmesidir.

Bu şemanın sağladığı esas avantaj optimal takım boyu ve yol topolojisi seçimine izin vermesi ve dolayısıyla bu şekilde daha yüksek işleme hızı elde edilebilmesidir. Dalma ve yanal çarpma hatalarını önleme metotları verilen yeni bir takım yolu oluşturma şemasının asıl parçasıdır. Daha sonraki kısımlarda dalma ve yanal çarpma hatalarının bir sistematik metot ve bunu oluşturmayı sağlayan algoritmalar yardımıyla çözmeye çalışılacaktır.

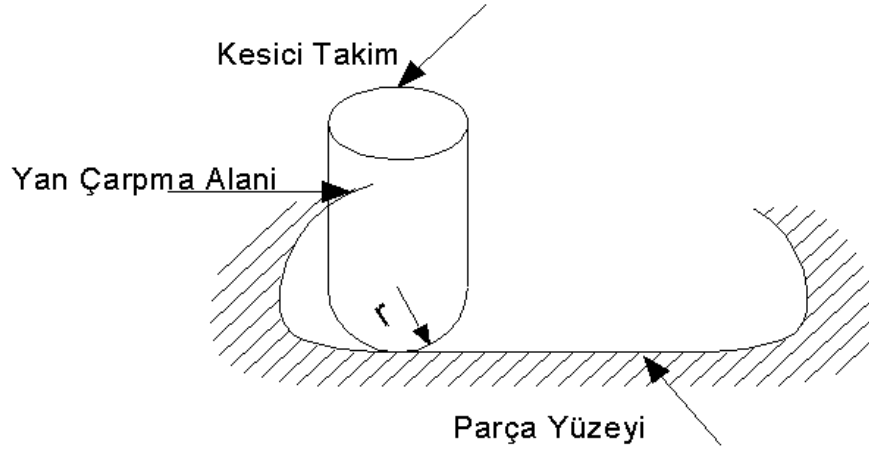
Herhangi bir takım yolu oluşturma metodu, işleme toleransı, uygunluk ve interpolatör uyumluluğunu sağlamalıdır.

2.2.3.3 İşleme Toleransı

İşlenen parça yüzeyindeki hatalar istenilen toleranslar içerisinde sınırlandırılabilir. Genel olarak işleme hatalarının iki kaynağı vardır. Bunlardan ilki, takım yolu oluşturma işleminin geometri ile uyumsuzluğudur.

Geometrik uyumsuzluğa etki eden en büyük etkenler, takım şekli ile parça yüzeyi arasındaki farklılık, ardışık devam eden ileri takım hareketi ve kesikli yan takım hareketleridir. İkinci hata kaynağı ise çalışma esnasında CNC sisteminden gelmektedir.

CNC sistem hataları titreşim, takım esnemesi, aşınma, izleme hatası v.b gibi hataları içerir. Fakat bu hatalar geometrik kompanzasyon yada otomatik kontrol ile azaltılabilir. Geometrik uyumsuzluktan oluşan hatalar ise takım yolu oluşturulduğu anda tespit edilebilir.



Şekil 2.21 Yan çarpma problemi.

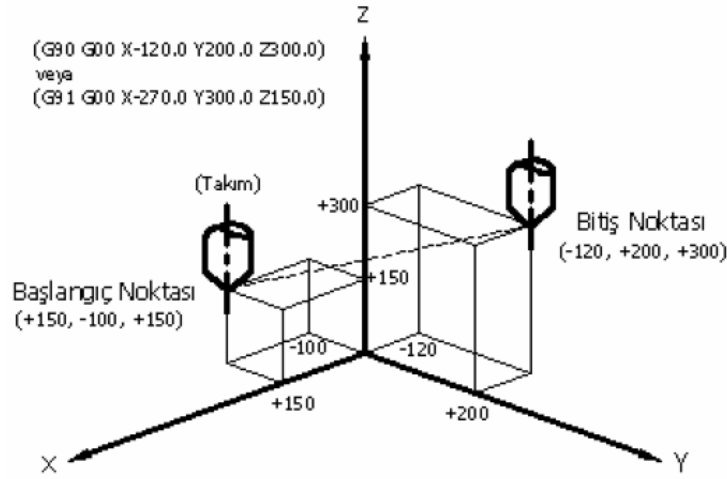
2.2.3.5 İnterpolatör Uyumluluğu

Farklı interpolatörler farklı veri formatları istediğinden dolayı takım yolu oluşturma metodu interpolatöre uygun veriler üretmelidir. Örneğin doğrusal interpolatör yolu tanımlamak için başlama ve bitiş noktalarına gerek duyar. Dairesel interpolatör ise daireysel bir yolun tanımlanabilmesi için başlama noktası, bitiş noktası, merkez noktası, yarıçap ve daireysel yolun doğrultusuna ihtiyaç duyar. Aşağıda interpolasyon fonksiyonları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

- Pozisyonlama.

“G00” kodu takımı iş parçası koordinat sisteminde mutlak veya artımsal kodlar ile verilen pozisyona hızlı hareket ile taşır. Pozisyon değeri mutlak komut olarak verilmiş ise iş parçası koordinat sistemi orijinine (program sıfırına) göre bitiş noktasının koordinat değerleri belirtilir. Pozisyon değeri artımsal olarak verildiği takdirde takımın mevcut bulunduğu konumdan verilen noktaya varması için daha ne kadar mesafe gitmesi gerektiği belirtilir. “G00” kodu bir kez belirtildiği zaman, başka bir “G” fonksiyonu ile değiştirilene kadar veya 01 kod grubundaki “G01, G02, G03” kodları ile hareket verilene kadar geçerli kalır. Eğer belirtildiği bloktan sonraki bloktaki hareket de “G00” ile yapılacak olan bir hareket ise, “G00”ın yazılmasına gerek yoktur, sadece gidilecek olan noktanın koordinat değerlerinin belirtilmesi yeterlidir. Takımın verilen noktaya mevcut konumdan ulaşması için lineer veya lineer olmayan bir yol boyunca gidip gitmeyeceği parametrelerle belirlenir. Genellikle lineer olan yol takımın her üç eksene ait olan en yüksek hareket hızı değerini kullandığından en kısa zaman alan yoldur. Tezgahların çoğunda takımın pozisyonlandırılması bu şekilde yapılır.

“G00” kodundaki hızlı hareket değeri her bir eksen için 518...520 parametreleri ile belirtilir. “G00” ile yapılan pozisyonlandırma bloğunda takım mevcut konumdan ivmelendirilir ve bitiş noktasına ulaşmadan evvel yavaşlatılır. İcra işlemi pozisyon hassasiyeti sağlanınca bir sonraki bloğa geçer. Bu aralık takım tezgahı imalatçısı tarafından belirlenir ve bu değerler 500...503 parametreleri vasıtasıyla belirtilir. Hızlı ilerleme değeri “F” ile belirtilemez. Aşağıda “G00” kodunun “G90” ve “G91” ile kullanımına dair bir örnek gösterilmektedir. Takım başlangıç noktasından bitiş noktasına “G00” kodu ile hızlı bir şekilde hareket ettirilmek istenmektedir.



Şekil 2.22 Takım Pozisyonlama

- Linear (Doğrusal) İnterpolasyon

Bu kod koordinat değerleri ve ilerleme hızı ile birlikte kullanılır. Takımın mevcut konumundan koordinat değerleri ile belirtilen bitiş konumuna F ile verilen ilerleme değeri ile doğrusal olarak (başlangıç noktası ile bitiş noktasını birleştiren doğru boyunca) interpolasyon yapmasını sağlar. Bu durumda F ile verilen ilerleme takım merkezinin hareket doğrultusundaki ilerleme değeridir. Aşağıda bu tür interpolasyon için kullanılan örnek komut satırı yer almaktadır.

Komut Formatı;

G01 X xp Y yp Z zp F f; şeklindedir.

Burada xp, yp ve zp ile bitiş noktası koordinat değerleri artımsal ve mutlak mod durumuna göre belirtilir. F ile ise mm/dk cinsinden takımın ilerleme miktarı değeri. İlerleme değeri yeni bir ilerleme verilene kadar geçerlidir. Bu sebeple her bir blokta ilerlemenin belirtilmesine gerek yoktur.

Döner eksen için ilerleme değeri derece/dakika cinsinden belirtilir. Lineer esken a ile döner eksen b aynı anda interpolasyona tabi tutulacak ise, bu durumdaki ilerleme a ve b ile oluşturulan kartezyen koordinat sistemine teğet olan ilerleme değeri mm/dak cinsinden verilir.

- Dairesel İnterpolasyon

Dairesel interpolasyon takımın bir yay boyunca hareket ettirilmesine imkan tanır. Bu tür interpolasyon için değişik düzlemlerde kullanılabilecek örnek komut satırları aşağıda verilmiştir.

Format;

XpYp düzleminde yay

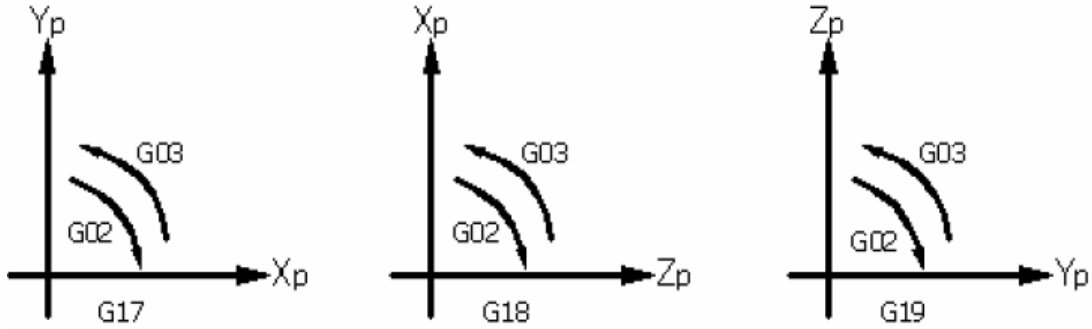
G17 G02 (G03) Xp_ Yp_ R_ (I_ J_) F_ ;

ZpXp düzleminde yay

G18 G02 (G03) Xp_ Zp R_ (I_ K_) F_ ;

YpZp düzleminde yay

G19 G02 (G03) Yp_ Zp_ R_ (J_ K_) F_ ;



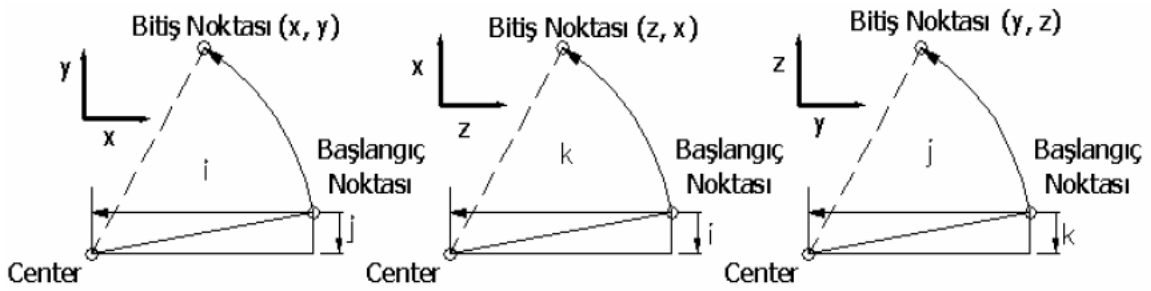
Şekil 2.23 Değişik düzlemlerde dairesel interpolasyon

G02 veya G03 kodu G1, G0 kodları belirtilene kadar aktif olarak kalır. Yay bitiş noktası koordinatları hem mutlak hem de artımsal olarak da belirtilebilir. Buna mukabil yay merkezi koordinatları (I, J ve K) artımsal olarak belirtilir. Yay yarıçapının artı veya eksi işaretli belirtilmesine göre dairesel interpolasyon yönü değişmektedir.

Dairesel interpolasyonun değişik düzlemlerde kullanılma durumuna yardımcı olmak amacıyla şekil 2.23 verilmiştir.

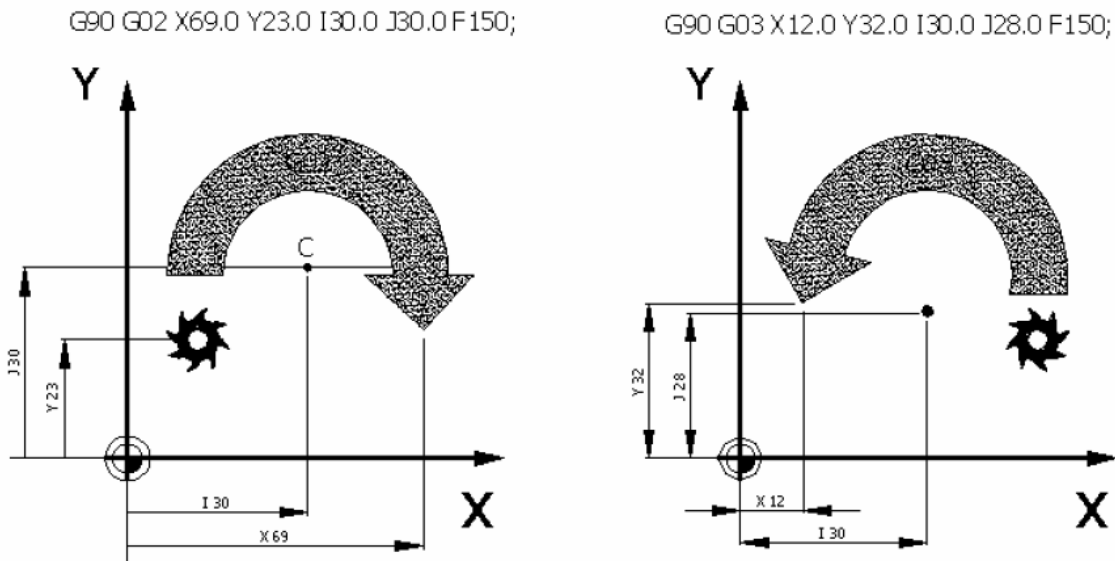
Yay bitiş noktası koordinatları X_p , Y_p veya Z_p değerleri ile belirtilir, ve G90 veya G91 modunun durumuna göre artımsal veya mutlak olarak verilebilir. Artımsal değerler yay başlangıç noktasından gözlemlenen bitiş noktası koordinatları olarak belirtilir.

Yay merkezi I, J ve K ile X_p , Y_p ve Z_p 'ye uygun düşecek şekilde belirtilir. Buna mukabil I, J ve K adreslerini takip eden sayısal değer bir vektör bileşenidir, ve yay başlangıç noktasından yay merkezine çizilen doğrunun bileşenlerine sahiptir ve daima artımsal değerler cinsinden belirtilir. I, J ve K değerleri doğrultusuna göre işaretlere sahip olacak şekilde belirtilmelidir.



Şekil 2.24 Yay koordinatları

Eğer I, J veya K değerlerinden herhangi bir tanesi sıfır ise, bunlar belirtilmeden geçilebilir. X_p , Y_p veya Z_p değerleri belirtilmediği takdirde (bitiş noktası başlangıç noktası ile aynı olduğu durumda) ve yay merkezi I, J ve K değerleri ile belirtilir ise takım 360 derecelik bir yay üzerinde kesme işlemi yapar.



Şekil 2.25 Yay üzeri kesim işlemi

Çizelge 2.1 Dairesel interpolasyonda kullanılan komutlar

G17	XpYp düzlemi
G18	ZpXp düzlemi
G19	YpZp düzlemi
G02	Dairesel interpolasyon Saat yönü (CW)
G03	Dairesel interpolasyon Saat yönü tersi (CCW)
Xp_	X eksenini komut değeri
Yp_	Y eksenini komut değeri
Zp_	Z eksenini komut değeri
I_	Yay başlangıç noktasından yay merkezine X ekseninde olan mesafe (işareti ile birlikte)
J_	Yay başlangıç noktasından yay merkezine Y ekseninde olan mesafe (işareti ile birlikte)
K_	Yay başlangıç noktasından yay merkezine Z ekseninde olan mesafe (işareti ile birlikte)
R_	Yay yarıçapı işareti ile birlikte belirtilir
F_	Yay boyunca ilerleme

- Helisel İnterpolasyon.

G02 ve G03 komutları, G17, G18 veya G19 ile seçilen düzlemde daireysel interpolasyona ek olarak bu düzleme dik olan üçüncü ekseninde lineer hareketin aynı anda yaptırılması suretiyle helisel interpolasyon fonksiyonu yerine getirir. Aşağıda helisel interpolasyon için komut formatı görülmektedir.

Komut formatı;

Xp Yp düzleminde helisel interpolasyon

G17 G02 (G03) Xp_ Yp_ R_ (I_ J_) α _ F_ ;

Zp Xp düzleminde helisel interpolasyon

G18 G02 (G03) Xp_ Yp_ R_ (I_ K_) α _ F_ ;

YpZp düzleminde helisel interpolasyon

G19 G02 (G03) Xp_ Yp_ R_ (J_ K_) α _ F_ ;

Burada α dairesel interpolasyon işleminin yapıldığı düzelleme dik olan eksendir.

Helisel interpolasyonun programda kullanılması dairesel interpolasyon komutuna sadece ek bir lineer eksen eklenmesi suretiyle kolayca yerine getirilebilir. Helisel interpolasyonda F ile verilen ilerleme değeri dairesel yay üzerindeki ilerleme değeri olarak belirtilmektedir. Bu sebeple lineer eksendeki ilerleme miktarı

(F) X (Lineer esken boyu) / (Dairesel yayın uzunluğu)

Dairesel yay uzunluğu $((2 \times 3.14) X (\text{yay yarıçapı}))$ formülü ile kolaylıkla bulunabilir. 393#4 parametresi ayarlanmak suretiyle helisel kesme işleminde lineer eksen hızının azami değeri #527 numaralı parametre düzenlenmek suretiyle ayarlanabilir.

Helisel interpolasyonda takım yarıçap telafisi sadece dairesel hareket için tatbik edilebilir. Helisel interpolasyon kodunun kullanıldığı blok içinde takım boyu kompanzasyonu ve takım telafileri belirtilemez.

2.2.4 Son İşlemci ve NC Programının Oluşturulması

Takım yolu parça işleminin genel bir çözümüdür ve buradaki bilgiler APT ve buna benzeyen bir program dili ile ifade edilmektedir. NC tezgahları bu program dilinden anlamazlar, daha önce belirtildiği gibi sadece G ve M koduna dayanan bir programa dönüştürülmesi gerekir.

Bu işlem post-prosesörün (son işlemci) yardımıyla yapılır. Post-prosesör zannedildiği gibi bir tertibat değil bir programdır. Diğer taraftan NC takım tezgahları birbirinden kod ve çalışma bakımından farklı olan kontrol üniteleri ile donatılmıştır. Bu nedenle post-prosesörler genel değil, kontrol sistemine yöneliktir. Örneğin Fanuc kontrol sistemi ile donatılmış tezgâhlar için Fanuc, Heidenhaim kontrol sistemi için ise Heidenhaim post-prosesörü gerekir.

Genel bir açıklama ile post-prosesör, takım yolu dosyalarını, NC sisteminin istediği özel kod formatına dönüştüren bir programdır. Esasen bir post-prosesör iki dosyadan meydana gelmektedir. Bunlarda birisi icra dosyası ve diğeri özelleştirme dosyasıdır. Bununla beraber post-prosesörün yapısını anlamak için takım yolu dosyasının yapısını bilmek gerekir.

Takım yolu dosyasının yapısından kısaca bahsetmek gerekirse, takım yolu dosyası takım yolunu CLDATA ile belirlenen takım yolu ile NC dosyası arasında geçici formatta temsil eden bir dosyadır. ASCII text dosyası şeklinde olan bu dosya aşağıda gösterildiği gibi iki satırlı bir yapıya sahiptir.

1011	-birinci sıra (G kod sırası)
0, 118, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0	-ikinci sıra (veri sayısı)
1012	-birinci sıra (G kod sırası)
1 0 0 0 0 0 0 0 0 01012	-ikinci sıra (veri sayısı)
0	-birinci sıra (G kod sırası)
0 12.5475 31.6054 0.7 -1	-ikinci sıra (veri sayısı)
1	-birinci sıra (G kod sırası)
0 12.5475 31.6054 8.000 20	-ikinci sıra (veri sayısı)

Her iki satır çevre, delik işleme, cep açma gibi bir operasyonu temsil etmektedir. Birinci sıra G kod formatında ikinci sıradaki verilerin neyi temsil ettiğini gösterir. Örneğin birinci sıra 0 ise G00 anlamına gelen çabuk hareketi gösterir ve ikinci sıradaki veriler takım telafisi, X, Y, Z koordinatlarını, ilerleme hızını temsil ederler. Benzer şekilde birinci sıra 1 ise doğrusal kesmeyi (G01), 2 ise saat ibresi yönünde dairesel kesmeyi (G02), 3 ise saat ibresinin ters yönünde dairesel kesmeyi (G03), 81 ise tekrarlanan delik işlemeyi (G81) gösterir.

Bir post-prosesörün yapısı şu kısımlardan meydana gelmektedir.

- Post-prosesörün başlığı, değiştirme notları, açıklama veya iyileştirme bilgileri. Bu kısım mecburi değildir, ancak konulması önerilir. Buradaki her bloğun önüne # işareti konular, önünde bu işaret olan blokları işleme konulmaz.
- Başlama şekli (debug), bug1, bug2, bug3 ve bug4 gibi bir takım değişkenlerin yardımıyla, NC dosyasına ek bilgiler ekleyerek post-prosesörün başlatılmasını sağlar. Buna göre, bug1 1'e ayarlandığında işlemden sonra ekranda NC programı görüntülenir. 2'ye ayarlandığında ise ekranda NC programı görüntülenir, 0'a ayarlandığında ise ekranda NC programı görüntülenmez. bug2 pozitif bir değere ayarlanırsa NC kodlarını hesaplamak için kullanılan son iki postblokların etiketlerini görüntüler. Negatif bir değere ayarlanırsa tüm postblokların etiketlerini görüntüler. 0'a ayarlanırsa postbloklar görüntülenmez. postbloklar, psof, plin gibi ön tanımlanmış değişkenlerdir. bug3 1'e ayarlandığında ekranda görüntülenen kodun sonuna değişkenin değerini ilave eder, 0'a ayarlandığında göstermez. bug4 1'e ayarlandığında ekranda görüntülenen kodun sonunda takım yolu dosya numarasını ilave eder, 0'a ayarlandığında göstermez. Örneğin

bug1=1

bug2=20

bug3=1

bug4=1

formatı NC bloğunu aşağıdaki gibi gösterir.

N150 G01 X10.85 Y24.68 plin 4 11

- Cümlelerin formatı. Ondan sonra gelen kısmının formatını açıklar. Genelde bir değişkenin formatı iki kademede yapılır. İlk kademede bir sayı formatı açıklanır, bu cümlelerin formatı ile gerçekleştirilir. İkinci kademede atama formatı ile bir değişkene bir sayı formatı tayin edilir.
- Atama formatı. Cümlelerin formatında açıklanan bir formatı bir değişkene atar.
- İşleme koyma, genel formüller, tekrarlanan işlemler. İşleme koyma ile tüm ön açıklanmış veya kullanıcı tarafından açıklanmış değişkenlere başlangıç değeri tayin edilir. Bu değer genellikle 0 dır. Ancak kullanıcı bir listenin yardımıyla başka başlangıç değerleri verebilir. Genel formüllerle bir değişken işleme koyma listesinde, bir formülle ilişkilendirilebilir. Tekrarlanan işlemlerle post prosesörde yer alan tekrarlanan işlemler ancak bu kısımda ifade edilirse işleme konulur. Örneğin,

Usecandrill : yes -delme için tekrarlanan işlemi kullan,

Usecanpeck : yes -kademeli delme için tekrarlanan işlemi kullan,

- Soru açıklamaları. Bir değişkeni veya katarı değiştirmek için post-prosesöre sunular eklenmesini sağlar. Bu şekilde post-prosesör çalışırken o soru ekranda görüntülenir ve post-prosesör cevap olarak bir sayı veya bir cümle bekler.
- Tablo açıklamaları. İlgili komut ile tablo açıklamalarının yapılmasını sağlar.
- Katarlar. Post-prosesörde bulunan katarlar listesi, katar açıklamalarını ve seçmelerini gerçekleştiren hedef değişkenler ve katar seçme cümlesinden meydana gelmektedir. Bir katar açıklaması iki kısımdan oluşur. Birincisi s harfi ile başlayan katar etiketi ve ikincisi katarı oluşturan karakter grubu. İki kısım arasında bir ara bırakılır. Örneğin,

Sn09 m09 -katar açıklaması

Katar seçilmeleri, bir nümerik seçim değerine dayanarak bir katar listesinden bir katarı seçer. Seçim hedef değişkenler ve katar seçme cümlesi ile gerçekleşir. Hedef değişkenler, bir değer atanmamış ve katar listesinde listelenen son değişkenlerdir. katar seçme cümlesi hedef değişkenini katar listesine bağlar. Bunun etiket_seçici_hedef olmak üzere üç kısmı vardır.

Etiket, listedeki birinci katarın adıdır, hedef yukarıda açıklanan hedef değişkenidir. Buradaki durumda seçici ise hedef değişkene atanacak element sayısını belirtir.

- Kullanıcı ön tanımlanmış postblokları. Postbloklar bir ve ya birçok postsıralardan meydana gelirler. Burada post post-prosesörün kısaltılmış şeklidir. Postsıralar birbirinden virgülle ayrılmış bir çok argümanlardan oluşurlar. Bunlar virgülle ayrılarak birçok sıraya yazılabilirler.
- Ön tanımlanmış postblokları. Bu çeşit postbloklar, takım yolu dosya satırlarında bulunan G kodları ile otomatikman çalıştırılırlar.
- Özel konular. Post prosesörün bu kısmında CAM programına bağlı olarak özel konular işlenir. Yani konfigürasyonun gerçekleşebilmesi için belirli sorulara cevap verebilecek şekilde gerçekleştirilir.

Post-prosesörün çalıştırılması sonucunda NC programı yaratılır. Günümüzdeki CAM sistemleri önemli kontrol sistemlerine ait post-prosesörler içerirler. Aslında bu konu günümüzde şu şekilde de çözülebilmektedir. CAM programı genel bir post-prosesöre sahip olabilir.

Operatör programı işleyecek kontrol sistemi hakkında bir takım bilgiler vererek, genel post-prosesörden o kontrol sistemine ait bir post-prosesör elde edebilir.

Bu açıklamalara göre takım yolunu G koduna dönüştürmek için, ilk olarak NC tezgahının kontrol sistemine ait bir post-prosesörün olup olmadığı kontrol edilmesi ve olmadığı durumda oluşturulması gerekir. Bu işlem aslında CAM sistemi ile işleme başlamadan önce yapılmalıdır.

Geliştirilmiş CAM sistemlerinde bu koda dayanarak işleme simülasyonu yapılabilir ve işlem kontrol edilir. Bu simülasyonda takım bir daire tam olarak görüntülenebilir. Hatalar varsa hata kaynağına gidilerek düzeltilebilir.

2.3 Takım Yolu Parametreleri

Herhangi bir yüzeyin işlenmesi için takım çeşitli yönlere yönlendirilebilir. Ancak takımı her durumda geçerli olan bir tek yöne yönlendirmek için çoğu CAM sistemi APT (Automacally Programmed Tools) programında yer alan şu tekniği uygulamaktadırlar. Bir nesne iki yüzeyin kesişimi boyunca sadece bir yolda hareket edebilir. Buna göre takım yolu, hareket yüzeyi, parça yüzeyi ve kontrol yüzeyi olmak üzere üç yüzey tarafından tayin edilir. Hareket yüzeyi takımın her hareketinde değişen yani işlenen yüzeydir. Parça yüzeyi takımı sürekli yönlendiren yüzeydir. Kontrol yüzeyi işleme yönünü değiştiren veya sona erdiren yüzeydir.

CAM sistemlerinde takım yolu; hareket, parça ve kontrol yüzeylerinin geometrisini ve işleme koşullarını açıklayan bir program ile gerçekleştirilir. Bu program, APT veya APT'ye dayalı CAM sistemine ait özel bir program olabilir. CAD sisteminde oluşturulan parça CAM sistemine aktarılarak işlenecek yüzeyler, işleme koşulları, açıklanır, takım bilgileri belirtilerek takım yolu oluşturulur.

CAM programı oluşturmada ilk işlem CAD ile oluşturulan parçanın CAM ortamına alınmasıdır. Entegre CAD-CAM sistemlerinde bu işlem ayrı bir dönüştürme işlemi gerektirmeksizin kolaylıkla yapılabilir. Birbirinden ayrı CAD ve CAM programları ile çalışılması halinde, CAD programından CAM programına çizimin aktarılması aşamasında DXF, IGES, STEP, VDA vb. dosya aktarma programlarından faydalanılır. Özellikle kompleks yüzeyler içeren parçaların, oluşturulduğu CAD dosya uzantısından aktarma formatına ve aktarma formatından CAM programı formatına dönüşümleri (convert) sırasında bazı veri kayıpları (yüzeylerde bozulma vs) söz konusu olabilmektedir. Bu durumda CAM programında parça çiziminin bazı düzeltmelerden geçirilmesi gerekmektedir.

Çizim tamamen CAM programına uygun hale getirildikten sonra programın NC modülüne geçilir ve yapılacak işlem (contour, pocket, drill vb.) seçilir. Parça üzerinde işlenecek yüzeyler (ve/veya contour) CAM programı arayüzünün gerektirdiği şekilde belirtilmesi gerekir. Daha sonra işleme koşulları açıklanır. İşleme koşulları yapılacak işleme bağlı olarak genelde bir diyalog kutusu ile gerçekleşir; işleme koşulları genelde şu faktörleri içerir:

- **Kaba talaş parametrelerinin ayarı.** Burada kaba talaşta paso şekilleri tayin edilir. Buna göre örneğin 0 derece girildiğinde kaba talaş kaldırma; cebin sol alt köşesinden başlar ve yatay pasolarla yukarıya doğru ilerler; 90 derece girildiğinde talaş kaldırma cebin sağ alt köşesinden yukarıya doğru başlar ve dikey pasolarla cebin sol kenarına ilerler. Ayrıca pasolar arası ve takım yolu ile geometri arasındaki mesafeler tayin edilir.

- **İşleme yöntemi belirlenir.** Burada karşıt (climb), konvansiyonel (aynı), zig- zag, spiral-dış, spiral-iç gibi yöntemleri vardır. Karşıt yöntem takımın ilerleme yönü, dönme yönüne ters olduğu yöntemdir. Konvansiyonel (aynı) yöntemde takımın ilerleme yönü, dönme yönü ile aynı olduğu yöntemdir. Zig-Zag verilen kaba talaş paso şekillerine göre cep doğrusal hareketlerle işlenir; spiral-dış cebi ortasından spiral hareketle duvarlarına doğru işler; spiral-iç cebi duvarlarından spiral hareketle ortasına doğru işler.
- **Takımın işleme girme yöntemi ayarlanır.** Burada girme şekli; helisel, eğik veya zig zag şeklinde olabilir. Ayrıca cep duvarları konik olarak işlenebilir.
- **Nihai işleme parametreleri ayarlanır.** Kaba işlemde cebin tabanında ve duvarlarında nihai işlem için, nihai işleme payları denilen belirli kalınlıkta malzeme bırakılır. Bunlar nihai işlemle yapılarak işlenir. Burada: nihai paso sayısı ile bir pasonun boyutu tayin edilir. Ayrıca nihai pasolarına takımın girişi, çıkışı belirlenir ve başka ayarlar yapılır. Bunun yanı sıra bazı CAM sistemleri nihai pasoları optimum bir sırada yapılmasını sağlar.

İşleme koşullarının belirlenmesini müteakip takım ile ilgili bilgilerinin açıklanmasına geçilir. Takım bilgileri genelde NC parametreleri adı altında ayrı bir diyalog kutusu ile ayarlanır. Burada genelde şu parametreler vardır:

- **Program numarası.** NC programında başlama bloğunun numarasını ve ekleme sayısı belirlenir. Örneğin başlama sayısı 10 ve ekleme sayısı 2 verilirse bloklar 10 numarası ile başlar ve 12, 14 vb. şeklinde devam eder. Her iki seçeneğe 0 girilirse blok numaraları yazılmaz.
- **NC programındaki takım numarası.** Çap telafisi (offset) numarası; uzunluk telafisi numarası belirlenir. Ayrıca: takım çapı; takım köşe yarıçapı girilir. Bunun yanı sıra: bırakılacak işleme payı; çabuk hareket derinliği; ilerleme hızı; Z eksenine doğrultusunda dalma oranı; kesme hızı belirlenir.
- **Takımın yarıçap telafisi tayin edilir.** Burada: sağ (G42), sol (G41), Off (telafi yok, G40) seçenekleri vardır. Ayrıca telafi takım merkezine veya takım ucuna göre yapılabilir; kesme sıvısı tipi seçilir ve bunun açık veya kapalı olması sağlanır.
- **Kaba ve nihayi paso sayıları, kaba paso derinliği; nihayi paso derinliği tayin edilir.** Ayrıca dizi şeklinde birbirinden ayrı ceplerin işlenmesini yani takım yolunun bir dizi içerisinde tekrarlanması ayarlanabilir.

- **Takım değiştirme yeri.** Güncel operasyon için takım düzlemi, takım orijini ve takım yolunun giriş/çıkış Şekli belirlenir.

Bunların yanı sıra, post-prosesörde NC programı oluşturulurken ekranda takımın görüntülenme Şeklinin ayarlanmasını sağlayan bir takım seğenekler olabilir. Bu hususta: takım parmak frezeyi temsil eden bir daire gibi; parmak frezenin merkezini temsil eden bir çizgi gibi görünebilir. Bu ayarlara göre takım: takım yolu boyunca görünüp sönen; takım yolunun her noktasında; belirlenen aralıklarda; seçilen elemanın son noktalarında; takım yolu bitinceye kadar gözükebilir.

Genelde CAM sistemlerinin gerek işleme parametreleri, gerekse takım bilgileri ile ilgili kütüphaneleri vardır. Buradan özellikle takımlarla ilgili her çeşit bilgiler çağırılabilir; ayrıca operatörde kendi kütüphanesini oluşturabilir. Bunu yanı sıra çeşitli malzemelerin mekanik özelliklerini içeren parça malzemeleri ile ilgili bir kütüphane bulunur.

Yukarıdaki ayarlamalar bittikten sonra belirli bir komut seğerek, takım yolu hesaplanmaya başlanır ve hesaplar bitikten sonra takım yolu görüntülenir. Oluşturulan takım yolları bilgisayarın belleğinde bir dosya halinde saklanır. Dosyanın uzantısı CAM sistemine bağlı olarak değişebilir; örneğin MasterCAM'de bu uzantı .NCI dir.

Oluşturulan takım yolu APT veya buna benzeyen bir program dili ile ifade edilmektedir. CNC tezgahları bu program dilinden anlamazlar; sadece G ve M kodunda yazılan programları anlarlar. Dolayısıyla takım yolu G-M koduna dayanan bir programa dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem post-prosesör yardımıyla yapılır. Burada Şu hususu belirlemekte yarar vardır. Post-prosesör bir donanım değil bir programdır. Diğer taraftan CNC takım tezgahları; birbirinden kod ve çalışma bakımından farklı olan kontrol üniteleri ile donatılmıştır. Bu nedenle post-prosesörler genel değil, kontrol sistemine yöneliktir. Örneğin Fanuc kontrol sistemi ile donatılmış tezgâhlar için Fanuc; Heidenhaim kontrol sistemine Heidenhaim vb. post-prosesörü gerekir.

Genel bir açıklama ile post-prosesör; takım yolu dosyalarını (.NCI uzantılı), NC kontrol sisteminin istediği özel kod formatına dönüştüren bir programdır. Esasen bir post-prosesör iki dosyadan meydana gelmektedir; bunlardan birisi icra dosyası ve diğeri ASCII özelleştirme dosyasıdır. MasterCAM'de uzantıları .DLL olan icra dosyaların adları frezeleme için MP.DLL, tornalama için MPL.DLL ve tel erozyon için MPWIRE.DLL; özelleştirme dosyasının adı ise MPFAN.PST dir. Bununla beraber post-prosesörün yapısını anlamak için uzantısı .NCI olan takım yolu dosyasının yapısını bilmek gerekir.

2.3.1 Takım Yollarının Oluşturulması

CAD veritabanlarından faydalanarak parçaların NC ile başarılı bir şekilde işlenmesinde dört adım tanımlanabilir. Bunlar işlenecek yüzeylerin tanımlanması (özellik tanımlama), takım yolunun oluşturulması, takım yolunun doğrulanması ve çarpışma kontrolüdür. İmalat için otomatik özellik tanımlaması CAD ve CAM'in entegrasyonu (proses planlama) açısından çok önemli bir adımdır. Çarpışma kontrolü kesici takımın ve kesici takımı tutucuları gibi kesme takımı ile ilgili parçaların imalat çerçevesinde iş parçası, fikstürler, miller gibi parçalarla çarpışması ile ilgilidir. Çarpışma problemini çözmekte kullanılan bir metot olan katı modelleme kesici takımın boşlukta hareketi esnasında oluşturduğu hacmi ve bu hacim içinde diğer elemanlarla çarpışıp çarpışmayacağını bulmaktır. Eğer kesişme önemsiz değilse çarpışma meydana gelir ve işlemin gerçekleşmesinde kullanılan diğer elemanların yeniden düzenlenmesi gereklidir. Burada önce takım yolunun oluşturulması ve sonrada doğrulanması üzerinde duracağız.

APT gibi ileri NC programlama dilleri takım yolunun oluşturulması için yüzey geometri tekniklerine yer verirler. APT sahip olduğu tanımlama yetenekleri sayesinde tüm analitik eğriler ve yüzeyler için takım yollarının oluşturulmasında başarılıdır. APT bu geometrik entitilerin tanımlanması için parametrik olmayan gösterimlerden kullanılır. Her biri gerekli giriş parametrelerini alan geometrik durumlar içerir. APT ye dayalı NC programlama sadece yönlendirilmemiş, sınırsız yani birbiri ile bağlantısız tek tabaka yüzeyleri kullanır. APT birleşik yani birbiri ile bağlantılı yüzeyleri tanımaz. Bu sebepten APT yönlendirilebilir ve sınırlı yüzeyleri olan katı modellerde direkt olarak kullanılamaz.

NC programlama yeteneğinin geliştirilmesinde serbest şekilli yüzeyler ve sculptured yüzeylerin işlenmesi büyük dikkat gerektirmektedir. Bu yeteneklerle genellikle bir parametrik formla betimlenerek (o formda oluşturularak) yüzeylerin işlenmesi mümkün olmaktadır. Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde kesici takımın ofsetlenmesi, hassasiyeti ve iş parçasına dalmasıyla uyumlu olarak ortaya çıkan bir problemdir. Alışıldığı üzere küresel uçlu (küresel burunlu) kesici takımlar, bu durumlarda kullanılırlar ve kesici takım ofsetlemesinin hesaplanması yüzeye normal doğrultuların bulunmasıyla sağlanır.

Normal doğrultuların saptanmasından sonra kesici takım yüzey üzerinde normal vektörler boyunca kesici takımın uç yarıçapı kullanılarak ofsetlenir. Kesicinin ofsetleme hesaplamasından önce, takım yolunu oluşturmak zorundayız. Bir yüzeyi parametrik olarak frezelemek için, yüzey tanımlaması ve belirli işleme parametreleri kullanılarak kesici yeri (konum) noktaları oluşturulur.

Bu noktalar CL dosyası içinde saklanır. Küresel uçlu kesici takım ucu her adımda doğru parçaları boyunca hareket etmek üzere yönlendirilir. Ne kadar az adım olursa işleme sonucunda elde edilen yüzey o kadar kaba olur. Bununla beraber programlamada hafızanın ekonomik kullanılması, hesaplama ve işleme zamanı açısından çok fazla adımlı bir programlamadan kaçınılmalıdır.

Örneğin eğer bir parametrik yüzeyin u ve v doğrultularını 0,1 adım ölçüsü olarak seçersek ve u ve v 'nin 0 dan 1'e kadar değer alacağını varsayarsak u ve v 'nin doğrultuları boyunca 11 nokta oluşturulmuş olur. Böylece yüzeyi işlemek için 121 nokta gerekli olur. Bu adım tanımlamasındaki problem daha az noktanın gerekli olduğu bazı yüzey işlemlerinin hesaba katılmamasıdır.

Buna ek olarak yüzeyde tolerans özellikleri hesaba katılmalıdır. Mevcut olan birçok algoritmanın dışında sculptured yüzeyler için takım yolunun oluşturulması için takip eden algoritmaları sunuyoruz. Algoritma 3 eksenli işlemeyi uygular. Algoritma 3 boyutlu sculptured yüzeyi 3 boyutlu parametrik uzay eğrilerine dönüştürür (u veya v doğrultularından).

Her bir eğri doğru dilimlerinin (parçalarının) dizileri ile yaklaşık olarak oluşturulan eğriden daha uygundur (yani tam bir eğridir). Bu parçalarla oluşturulan takım yolu küresel uçlu kesici takımlar için hesaplanır. Algoritma takım yolunun oluşturulması için yüzey boyunca hesaplanacak noktaların sayısını azaltmayı amaçlar. Algoritmanın püf noktası parametrik uzay eğrilerinin yaklaşık olarak nasıl bulunacağı ve takım yolunun nasıl belirleneceğidir.

2.3.2 Takım Yollarının Doğrulanması

Gerçek işleme süresince takımları yönlendiren NC programları ve takım yolları manuel olarak (elle) doğrulanması mümkün olmayacak kadar çok koordinat değerleri içerirler. Burada takım yollarının grafiksel ve görsel olarak gösterimi sürecin doğrulanması açısından oldukça yararlıdır.

NC doğrulama yazılımı kesici takımın hareketlerini (işlemeyi) göstererek, takımın izlediği yolu takip ederek ve takımın stokla (ham malzeme), bağlantı elemanlarıyla veya fikstürlerle ilişkisini takip ederek gerçek işleme sürecini simülasyon halinde gösterir. Takımın ve stokun gölgelenmiş görüntüleri görsel sürecin (simülasyonun) görülebilirliğini artırmaya yönelik olarak kullanılır. Bu durum, bir NC programcısının NC programındaki potansiyel hataları tespit etmesine olanak sağlamaktadır.

Canlandırılan (simüle edilen) takım yolu, NC programcısının NC program verileri takım yolundaki çeşitli noktalar, çerçevelerin yada kafeslerin oluşturulması ve yeniden canlandırma için çerçevelerin hafızaya alınmasıyla oluşturulur. Takım yolu doğrulamasının sağladığı avantajlar çok fazladır. Bunları gözden geçirmek gerekirse,

- Bir kesici takım ham malzemeden (makinenin tablasından) gerekli malzemeyi kaldırır.
- Bir kesici takım yaklaşma esnasında bağlama çenesine veya fikstürlere çarpar.
- Bir kesici takım ile bir tabandan yani yüzeyden veya bir cebin kenarından veya bir ribin içinden geçer.
- Takım yolları olabileceği kadar verimlidir.

Diğer avantajlarından bahsetmek gerekirse, programdaki gelişmelerin hızla programa adapte olması, NC programcılarının herhangi bir tehlike söz konusu olmaksızın hızlı bir şekilde eğitilmeleri ve kesici takımlarla serbest olarak gerçek parçaların işlenebilmesi (programların veya bireylerin eğitimlerinin test edilmemesiyle). Ayrıca ek olarak yazılım yoluyla takım yolunun doğrulanması işleme takımlarının aşınmasını azaltır. Doğrulama amacıyla bir poliüretan köpük işlendiğinde poliüretanın talaşları havada yükselerek makinenin parçaları üzerine düşerek yayılır ve aşındırıcı bir rol oynar.

Takım yolu doğrulanmasında bile bazı işleme problemleri ortadan kaldırılamaz. Örnek olarak takım titreşimi, ham malzemede meydana gelecek deformasyonlar (işleme esnasında ortaya çıkan yüksek ısıdan dolayı meydana gelen sıcak gerilmeler nedeniyle) gibi problemler takım yolu doğrulamasının konusu dışında basit problemler olarak gösterilebilir. Bununla beraber takım yolu doğrulanması ile genellikle hataların büyük bölümünün ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

2.3.3 Çarpışmanın Kontrol Edilmesi

2.3.3.1 Dalma Önleme Ve Düzeltme

Yüzey işlemede takım yollarının herhangi bir dalmaya sebep olmaması gereklidir. Dalmayı önleme ve düzeltme konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bu nedenle takım yolu oluşturulurken ya da oluşturulduktan sonra mutlaka dalma önlenmelidir. Dalma, takım yolu oluşturulduğunda önleniyorsa bu on-line dalma önleme, mevcut bir takım yolu üzerinde dalmanın tespit edilmesi ve düzeltilmesi ise burada off-line dalma önleme olarak isimlendirilmektedir.

2.3.3.2 On-Line Dalma Önleme

Bazı araştırmacılar, uygun bir parça yerleştirme şeklinin seçilmesiyle dalma problemine çözümleri getirmeyi düşünmüşlerdir. Gaal ve Varady (1985), yaptıkları çalışmada, herhangi bir yerde dalma olup olmadığını tespit etmek için gizli yüzey yok etme kavramını kullanmışlardır. Takım eksenini z eksenini olarak düşünölmüştür. Yüzey normalini çeşitli noktalarda hesaplanmakta, yüzey normalinin z bileşeninin işareti göz önüne alınarak hatayı belirlemede işaret baz alınarak işaret pozitiften (+) negatife (-) değişiyorsa bu durumda dalma olduğu sonucuna varılmaktadır.

Kullanılan bu metot çok basit olmasına rağmen beraberinde getirdiği bazı dezavantajları vardır. Metodun hassasiyeti örnek nokta sayısına ve konumlarına bağlıdır ve de iyi bir nokta ağında normallerin hesaplanması gereklidir. Ayrıca bu yaklaşım verilen bir doğrultunun fizibilitesinin tespiti için iyi bir yaklaşımdır.

Tseng ve Joshi (1990), yaptıkları çalışmada Bezier yüzeylerinde takım dalma probleminin önlenmesi için bir metot sunmuşlardır. Bu metot bölünmüş kontrol poligonları esas alınarak geliştirilmiştir. Bölünmüş kontrol poligonları yaklaşık olarak bir eğri olduğu için, dalma içermeyen bir parça poligonu, bu durumda dalma içermeyen bir parça eğrisi olacaktır. Matematiksel kanıtlar ve algoritma burada verilmemiştir. Bu metot sadece Bezier yüzeylerine uygulanabilir.

Lee ve Chang (1995), 5 eksenli yüzey işlemede dalmayı önlemek için konveks kabukları içeren iki kademeli bir metot önermişlerdir, ilk kademede serbest şekilli bir yüzeyin kontrol ağları kullanılarak fizibil takım oryantasyonu bulunmaktadır. Eğer ilk kademe, sonuç vermezse ikinci kademede yüzey normalleri kullanılarak detaylı bir kontrol yapılmaktadır.

Bölgesel dalma probleminden kaçınmak için Hwang (1992) dalma önlemeyi de içeren bir takım yolu oluşturma metodu sunmuştur. İlk olarak birleşik serbest şekilli yüzeyleri üç açılı polyhedronlarla temsil etmiştir, daha sonra izo-planer yolları oluşturmuştur. Takım yollarını ise şu şekilde oluşturmuştur. İlk olarak izometrik düzleme uygun şekilde takım merkezinin x,y koordinatlarını tespit etmiş, daha sonra ise her bir x, y çifti için, takımın yüzeye teğet olduğu durumdaki en büyük takım merkezi koordinatını z değeri olarak almıştır.

Bu yaklaşımın bazı avantajları vardır. Bunlardan ilki, herhangi bir serbest şekilli yüzeye uygulanabilir olmasıdır. İkincisi ise güçlü bir yaklaşım olmasıdır. Üçüncü avantajı ise kesici konum yolları düzlemseldir, bu nedenle tezgâh dinamiği bu durumdan fazla etkilenmemektedir.

Avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. İlk dezavantajı 3 eksenli işleme için izo-planer takım yolları ile sınırlı olmasıdır. İkincisi ise, yüksek yüzey hassasiyeti istendiği zaman, hesaplamaların ve veri boyutunun hızla artması ile hantallaşmasıdır. Huang ve Oliver (1992) de ileri artış adımlarında dalmayı engellemek için bir algoritma sunmuşlardır. Her bir ileri artış için, dalma tespit işlemi yapılmaktadır. Eğer dalma mevcut ise, yeni yol silinmektedir. Açıkta ki, bu metot yan artışlarda dalmayı önleyemez.

Chang ve arkadaşları (1995) dalma içermeyen takım yolu oluşturmak için kaydırılmış yüzey yaklaşımını kullanmışlardır. Bu yaklaşımda, parça yüzeyi ofsetlenmiş bir yüzey oluşturmak için kaydırılmaktadır ve takım yollarını oluşturmak için ofset yüzeyi paralel olarak süpürülmektedir. Chang ve arkadaşları geliştirdikleri bu metodun dalma içermeyen, düzgün takım yolları oluşturduğunu ve en az kesilmemiş alan bıraktığını iddia etmektedirler. Bununla birlikte, bu yaklaşımda bazı çözülememiş problemler vardır. Kaydırılmış yüzeyi oluşturmak için kullandıkları metoda yer vermemişlerdir. Ayrıca, kaydırılmış yüzey düzensiz bir çok yamadan meydana geldiğinde, uzaysal ofset yüzey elemanlarını bağlamak, fazla olan kısımlarını kesmek için iyi bir metodun bulunması gerekmektedir. Bu metoda ait örnekler sadece 2B durumlar için verilmiştir. Daha karmaşık 3B yüzeyler için bağlama ve fazla kısımları yok etmek için daha birçok çalışmaya ihtiyaç vardır.

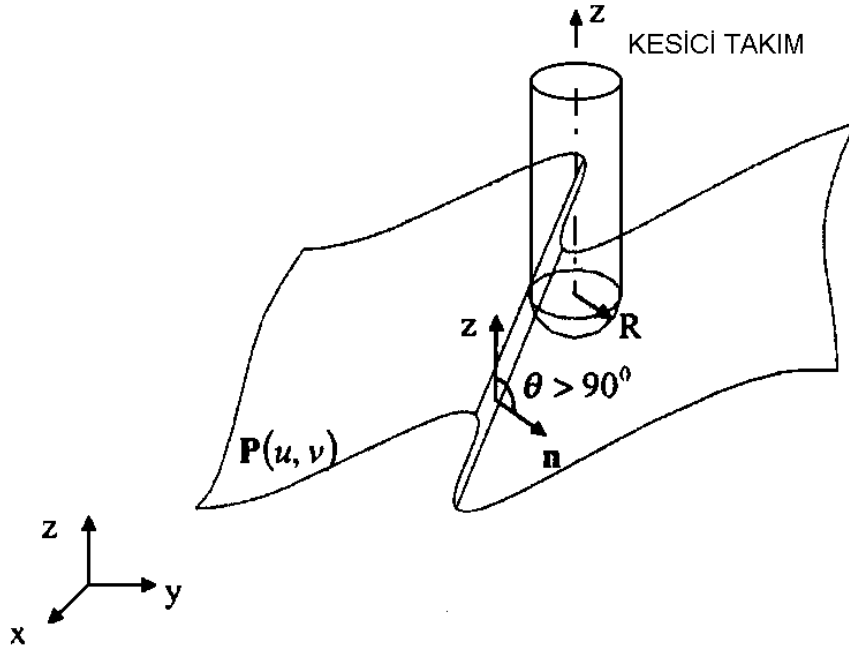
2.3.3.3 Off-Line Dalma Önleme

Choi ve Jun (1989) 3 eksenli işlemede dalma probleminin tespiti ve düzeltilmesi için bir metot sunmuşlardır. Kesici temas noktalarını üçgenel ağlara dönüştürmüşler, daha sonra nokta ağlarında, yüzey ağı ve kesici merkezi arasındaki mesafeyi denetleyerek dalmayı kontrol etmişlerdir. İki kademeli olan bu metotta öncelikle konkav yüzey bölgelerinde dalma tespiti ve düzeltilmesi yapılmakta, diğer kademede ise yeni kesici konum verileri konveks yüzey bölgeleri için dalma engellenecek şekilde oluşturulur. Bu algoritma küresel uçlu parmak freze ile 3 eksenli işlemede dalma probleminin çözümü için yeterli görünmektedir. Yazarlar, mükemmel bir iş yapmışlardır ve küresel uçlu parmak freze ile 3 eksenli işleme için dalma içermeyen takım yolları problemi için tartışmasız bir çözüm üretmişlerdir.

Huang ve Oliver (1995) takım yolu düzeltme yoluyla dalmaları ortadan kaldırmak için "arakesit hacminin azaltılması" adlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma düzenli Boolean arakesit operasyonunu kullanarak iş parçası ve takım arasındaki arakesit hacmini hesaplamakta ve daha sonra bu hacimde dalma kontrolü yapılmaktadır. Tespit edilen dalmalar, takım konumunun bir kılavuz vektör boyunca taşınmasıyla ortadan kaldırılmaktadır.

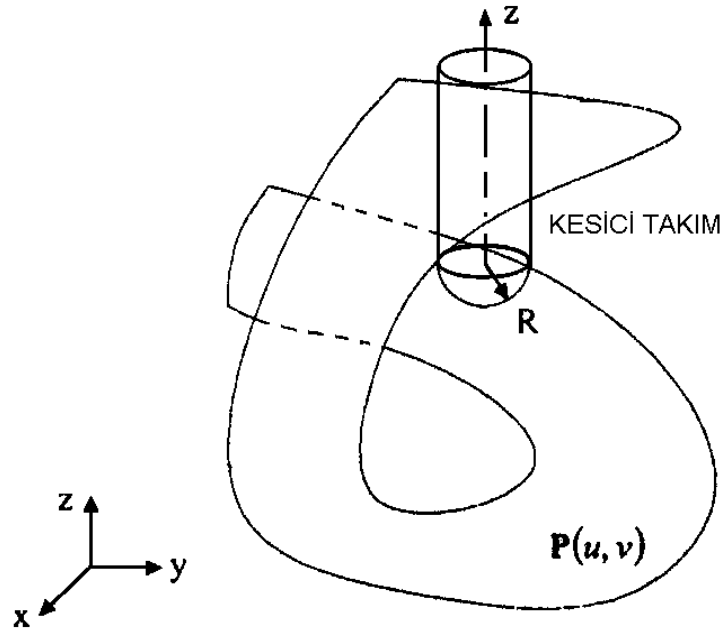
2.3.4 Yanal Çarpma Önleme

Yanal çarpma problemi, problemlili yüzey geometrileri nedeniyle meydana gelir. Bu problem üç şekilde oluşabilmektedir. Birincisi, bazı yüzey kısımlarında mevcut olan yüzey normali ile takım eksenini yüzeyi arasındaki açının 90° yi geçmesidir (Şekil 2.26). İkinci bir neden ise, takım eksenini yönü görünüşünden bakınca yüzeyin bazı kısımlarının görünmemesidir (Şekil 2.27) ve üçüncü neden ise, takımın yüzey sınırıyla çarpışmasıdır (Şekil 2.28). Burada z-eksenine göre altta kalan yüzey işlenirken üst yüzeye takımın çarpması nedeniyle meydana gelen hata anlatılmak istenmektedir. Yanal çarpmaya neden olan bu üç olayın her biri özel adlarla belirlenmiştir. Bunlar, çıkıntı hatası (Protrusion Interference, PI), bindirme hatası (Overlapping Interference, OI) ve sınır çarpışma hatası (Boundary Collision Interference, CBI) olarak isimlendirilmektedir. Yalnız burada unutulmaması gereken bu üç olayın da birbirinden ayrı düşünülmemesi gerekliliğidir. Bazı yüzeyler bu hataların hepsini içinde barındırır. Bundan başka ayrıca, bindirme hatası (Overlapping Interference, OI) her zaman sınır çarpışma hatası (Boundary Collision Interference, CBI) beraberinde meydana gelir. Fakat bunun tersi doğru değildir.

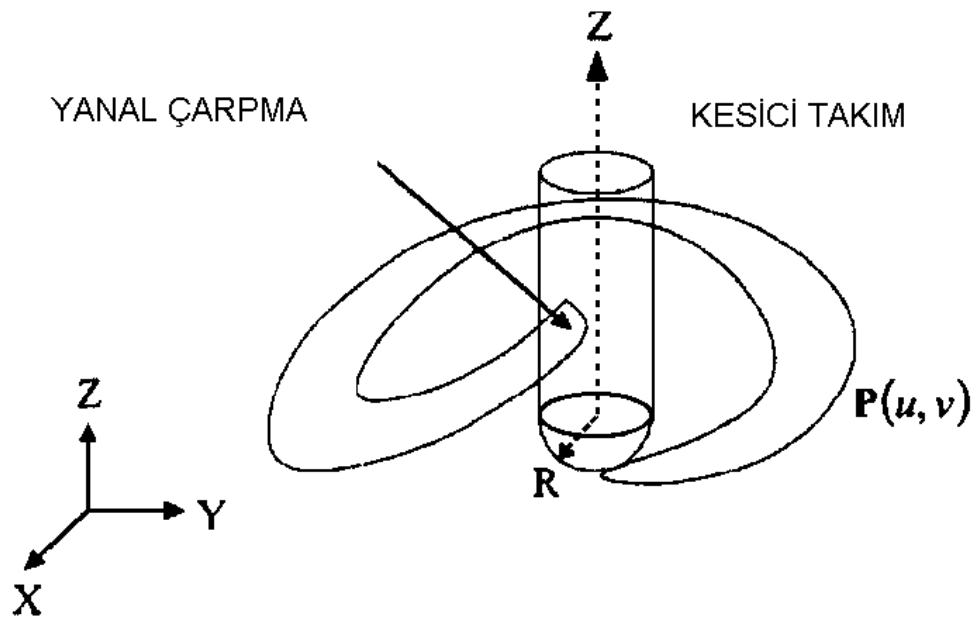


Şekil 2.26 Çıkıntı Hatası (Protrusion Interference, PI) (Ersoyoğlu vd., 2001)

Yanal çarpma, bu üç hataya göre üç safhalı bir çözüm gerektirir. İlk safhada, PI, izo-photos ve izo-inclination eğriler yardımıyla bulunur. İkinci ve üçüncü safhada ise OI ve BCI, çapraz sınır eğrileri, kaydırma ve çıkıntı oluşturmak suretiyle belirlenir. Bu safhaların sonucunda, yüzeydeki serbest yanal çarpma alanları belirlenmiş olur.



Şekil 2.27 Bindirme Hatası (Overlapping Interference, OI). (Ersoyoğlu vd., 2001)



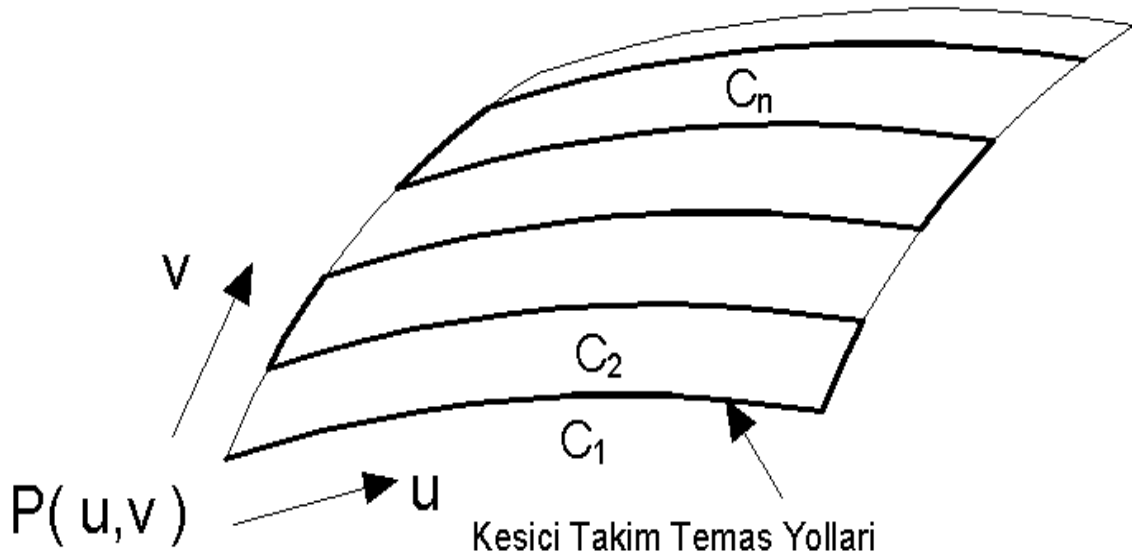
Şekil 2.28 Sınır Çarpışma Hatası (Boundary Collision Interference, CBI). (Ersoyoğlu vd., 2001)

3. TAKIM YOLU OLUŞTURMA ALGORİTMALARI

Genel olarak topolojilerine göre mevcut takım yolu oluşturma teknikleri 5 gruba ayrılabilir. Bunlar, izo-parametrik takım yolları, izo-planer takım yolları, sabit çıkıntı yükseklikli takım yolları, cep boşaltma ve alan doldurma eğrileridir. Aşağıda bu tekniklerin kapsamaları incelenmiştir.

3.1 İzo-Parametrik Takım Yolları

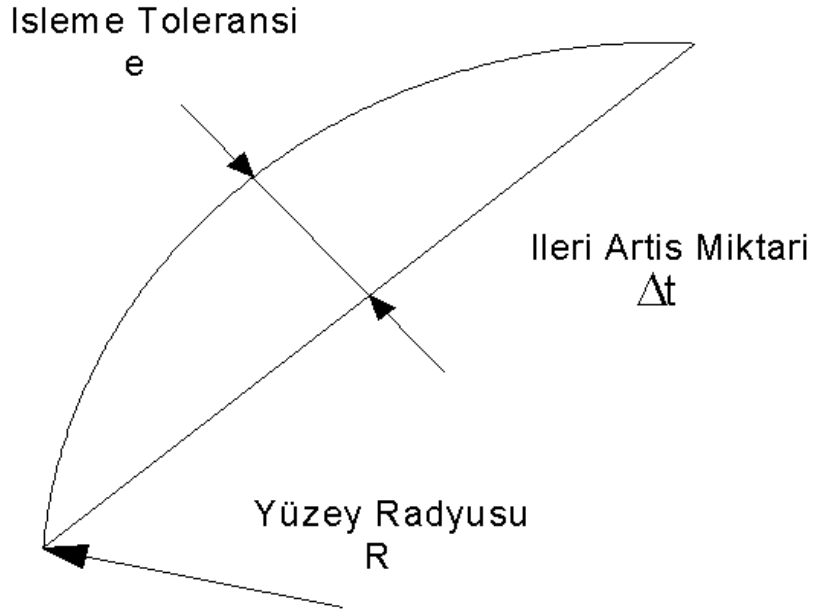
Günümüzde mevcut CAD/CAM sistemlerinde izo-parametrik takım yolu oluşturma metodu çok geniş bir şekilde kullanılmaktadır. İzo-parametrik metotta takım yolu u yada v doğrultusunda, yüzey üzerindeki izo-parametrik eğriler üzerindedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 İzo-parametrik takım yolları ($v = \text{sabit}$). (Ersoyoğlu vd., 2001)

İzo-parametrik takım yolu oluşturma metodu ile ilgili olarak bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Broomhead ve Edkins (1986), ardışık doğru parçalarını izo-parametrik eğriye yaklaşmak için çok kullanmıştır. Doğru parçasının uzunluğunu (ileri artış miktarı), eğri ve doğru parçaları arasındaki kiriş yüksekliği toleranslar içerisinde kalacak şekilde hesaplamışlardır (Şekil 3.2).

Broomhead ve Edkins (1986), yan artış miktarını ise ardışık yollar arasındaki çıkıntı yüksekliği toleranslar içerisinde kalacak şekilde hesaplamışlardır. Önerilen bu çözüm karmaşık şekilli yüzeylerde çok kötü bir çıkıntı oluşturmaktadır.



Şekil 3.2 İleri artış miktarının hesabı için giriş yaklaşımı. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Yan artış miktarını hesaplamak için iteratif bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım bazı problemler içermektedir. İlki, en kötü çıkıntı durumu dikkate alındığında birçok yüzeyin gerekenden daha dar toleranslarda frezelenmesi gerekecektir. Bu ise işleme verimini düşürmektedir. İkincisi ise, yan artış miktarının hesaplanmasında kesme doğrultusunun yüzey yarıçapına dik olduğunu kabul etmişlerdir. Bununla birlikte, böyle bir yarıçapın nasıl hesaplandığına dair bir açıklama yapılmamıştır. Loney ve Özsoy (1987), yan artış miktarını değiştirerek işleme verimini artırmışlardır. İki ardışık yol arasındaki en kötü çıkıntı yüksekliği toleransla kısıtlanmıştır. En kötü çıkıntının konumu şu adımlarla hesaplanmaktadır.

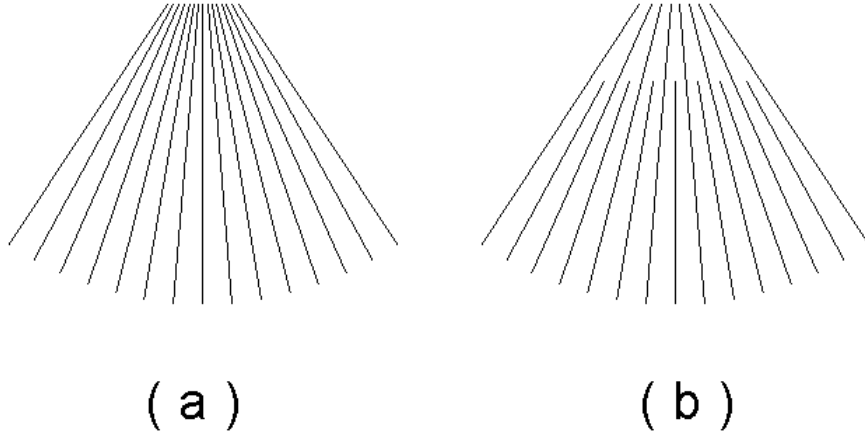
- Yol üzerinde eşit aralıklarla olmak koşuluyla noktalar seçilmektedir. Örneğin $u = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1$ gibi.
- Diğer izo-parametrik eğri boyunca seçilen her bir nokta için yan artış miktarları hesaplanmaktadır. Örneğin u parametrik eğri.
- Tüm yol için minimum yan artış miktarı hesaplanır ve bu değer yan artış miktarı olarak alınır.

Yan artış miktarını değiştirme yaklaşımı Li (1990) ve Cavendish (1992) tarafından da geliştirilmiştir. Broomhead ve Edkins'in yaklaşımına benzer tarzda, ileri artış miktarını giriş sapmasına göre hesaplamışlardır. Fakat bu yaklaşımda birkaç problem vardır.

Bu yaklaşımdaki problemlerden ilki, parametrik koordinat ve kartezyen koordinat arasındaki ilişki uniform olmadığı için yan artış miktarı en kötü çıkıntı miktarına göre hesaplanmaktadır. Bu durumda, birçok yüzey gereğinden daha az çıkıntı yüksekliğiyle işlenmektedir.

Karmaşık şekilli yüzeylerde en kötü çıkıntı yüksekliği yaklaşımı işleme verimini düşürmektedir (Şekil 3.3.a). İkinci problem ise, çıkıntı yüksekliğini parametrik eğri boyunca ölçmüş olmalarıdır. Bu durumda gerçek çıkıntı yüksekliği daha düşük bir değerde ölçülür ve hassasiyet düşer. Üçüncü problem ise, yan artış miktarının hesabında parametrik eğri birbiri ile örtüşen eğrilere yaklaştırılmaktadır. Bu yaklaşımın hassasiyeti analiz edilememiştir.

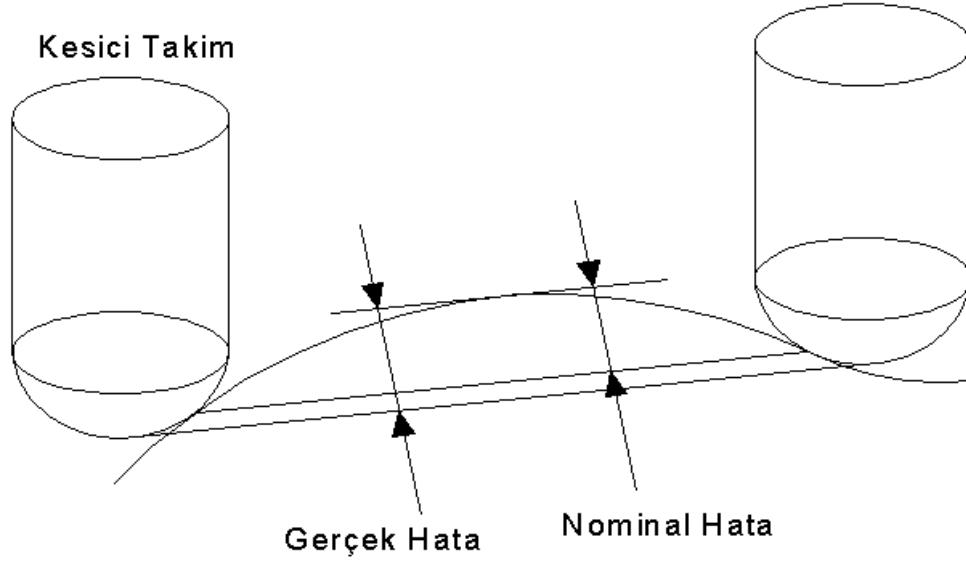
Elber ve Cohen (1994), verimsiz işleme problemini gereksiz işlemeye neden olan izo-parametrik eğri kısımlarının budanması ile azaltmışlardır. Budanan bu yollar adaptif izo-parametrik yollar olarak isimlendirilmektedir. Bu durum şekil 3.3.b'de görülmektedir. Bu metot gereksiz işlemleri azaltır, fakat takım yollarının çok parçalı olmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.3 Bir yüzey için, (a) İzo-parametrik, (b) Adaptif izo-parametrik takım yolları.
(Ersoyoğlu vd., 2001)

Huang ve Oliver (1992) ileri artış miktarının hesaplanmasını, giriş son noktasında takımın genelde takım yoluna dik olmadığı gerçeğini göz önünde tutarak geliştirdiler. Böylece kesme çizgisi, temas noktalarını bağlayan çizgiden öte, kesici ucun yoludur. Şekil 3.4'de bu durum görülmektedir. Huang ve Oliver daha hassas bir işleme yapabilmek için iteratif bir algoritma sunmuşlardır.

Genel olarak izo-parametrik metot iyi bir hesaplama verimine sahiptir, fakat işleme verimi, yüzey üniformluğu, yüzey düzgünlüğü kötüdür.



Şekil 3.4 Gerçek ileri artış hatası. (Ersoyoğlu vd., 2001)

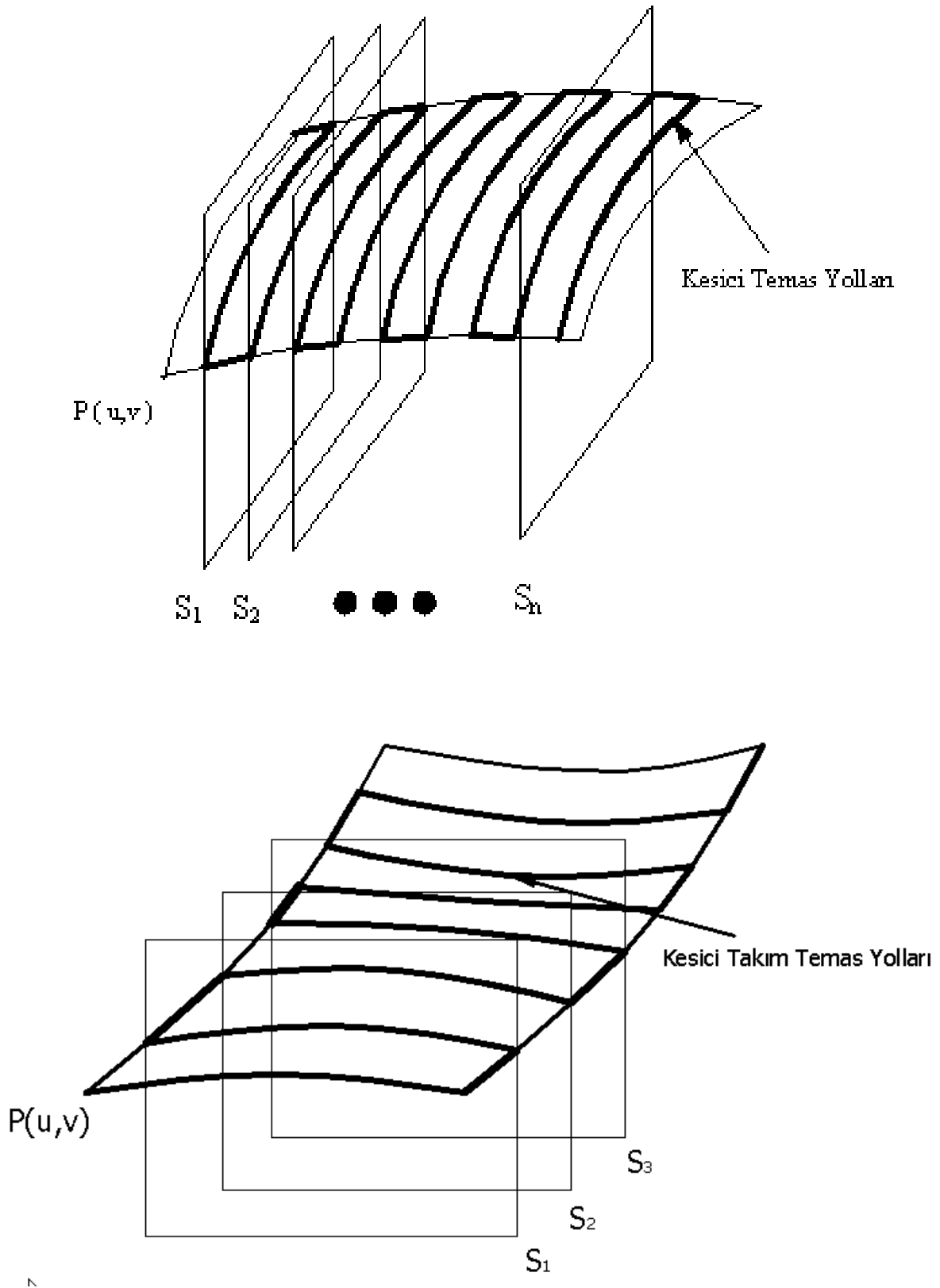
3.2 İzo-Planer İşleme

Diğer bir takım yolu oluşturma metodu ise, şekil 3.5’de görüldüğü gibi takım yolu olarak serbest şekilli yüzeyler ve paralel yüzeyler arasındaki arakesit eğrilerini kullanan izo-planer metottur. İzo-parametrik metoda benzer tarzda, doğru parçaları arakesit eğrisine yaklaşmak için kullanılmaktadır ve yan artış miktarının hesaplanması en kötü çıkıntı yüksekliği temel alınarak tespit edilmektedir.

Bobrow (1985) izo-planer takım yolu oluşturma metodunu kullanarak CSG (Constructive Solid Geometry–Yapısal Katı Geometri) katı modelden direkt olarak takım yollarının oluşturulmasıyla ilgili çalışmalar yapmıştır.

Takım yolları model üzerinde paralel süpürmeler şeklinde oluşturulmaktadır. CSG modelde sınırlı sayıda ilkel katı modeller olduğundan, arakesit eğrileri ancak özel model denklemlerinin analitik olarak çözülmesiyle elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, bu metot sadece CSG’nin desteklediği serbest şekilli yüzeylere uygulanabilmesi gibi sınırlamalar getirmesi nedeniyle için çok tartışılmaktadır.

Huang ve Oliver (1992) serbest şekilli yüzeylerde izo-planer takım yolu oluşturmak için algoritmalar sunmuşlardır. Yaptıkları çalışmalarda ileri ve yan artış miktarlarının hesabına ait detaylar vermişlerdir. Hassas bir ileri artış miktarının hesaplanmasına katkılarına ilaveten, yan artış miktarını kesme düzlemine dik bir düzlem ile parça yüzeyinin arakesit eğrisinin eğrilik yarıçapını kullanarak hesaplamışlardır.



Şekil 3.5 İzo-Planer işleme ($i = 1,2,3,\dots,n$, paralel düzlemler). (Ersoyoğlu vd., 2001)

Ayrıca yaptıkları çalışmada direkt dalma eliminasyonu işlemini de vermişlerdir. Fakat kesme düzlemi ve parça yüzeyi arasında arakesit eğrilerinin nasıl oluştuğunu açıklamamışlardır.

Hwang (1992), izo-planer metodunu parametrik yüzeylere uygulamıştır. Bu metot iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada, parametrik yüzeyler üçgen polihedronlara (çok yüzlü olan) dönüştürülmektedir. Sonra her bir polihedronun takım yolları oluşturulmaktadır.

Huang ve Oliver'e benzer tarzda, optimal ileri artış miktarını tespit etmek için yoğun bir hesaplama yaklaşımı kullanmıştır, fakat yan artış miktarını en kötü çıkıntı durumuna göre hesaplamıştır. Bu polyhedron yaklaşım metodu pratiktir ve herhangi bir serbest şekilli yüzeye uygulanabilir.

İzo-planer metodun diğer bir konusu ise, süpürme oryantasyonunun tespitidir. Araştırmacılar optimal süpürme oryantasyonu seçimi için daha detaylı bir araştırma stratejisi geliştirmişlerdir.

Öncelikle, bir başlangıç oryantasyonunda sabit bir yan artış miktarıyla iki takım yolu oluşturulmaktadır. Yol uzunluğu hesaplanmakta ve bir optimum olarak saptanmaktadır. Daha sonra, oryantasyon değiştirilmekte ve yeni takım yolu oluşturulmaktadır.

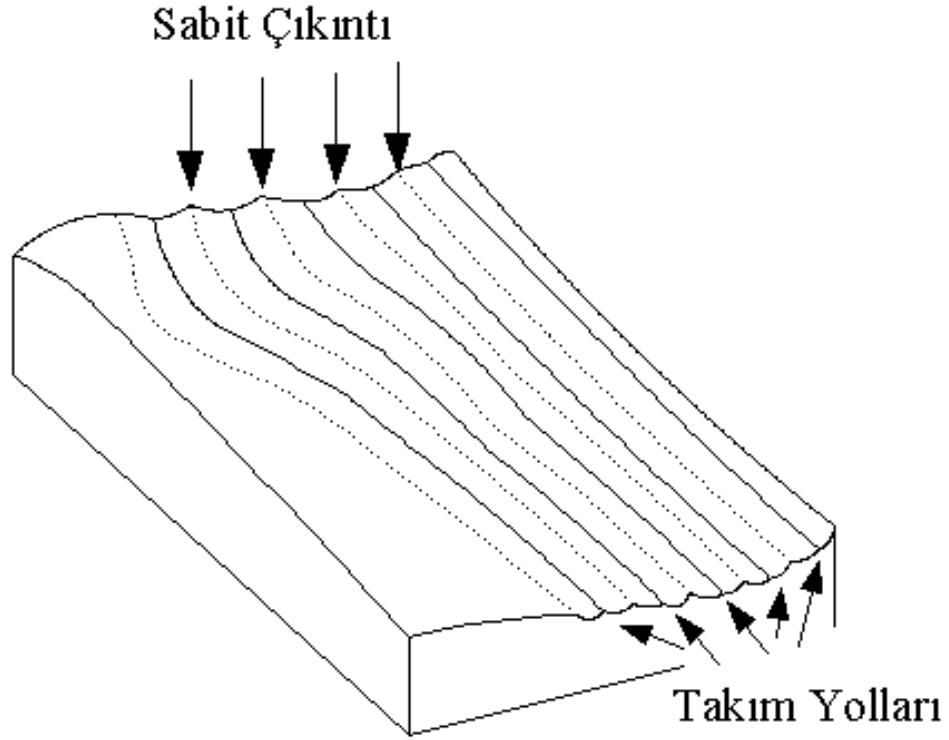
Yeni yolun uzunluğu mevcut optimumla karşılaştırılmakta, kısa ise yeni yol saklanmaktadır. Bu işlem bütün oryantasyonlar kontrol edilinceye kadar devam etmektedir. Bu metot temel olarak sezgisel bir yaklaşımdır. Daha analitik çözümler ileriki çalışmalar için bir konu oluşturmaktadır.

3.3 Sabit Çıkıntı Yüksekliğine Göre İşleme

İzo-parametrik ve izo-planer işlemenin tersine, sabit çıkıntı yüksekliğine göre işlemede çıkıntı yüksekliği her yerde aynı kalmaktadır (Şekil 3.6). Sabit çıkıntı yüksekliğine göre işlemede elde edilen belirgin avantajlar şunlardır,

- Parça yüzeyindeki gereksiz işlemler ortadan kaldırılır, böylece işleme verimi artırılır.
- Çıkıntı yüksekliği her yerde aynı olduğundan ince işlemeden sonra daha kaliteli bir yüzey elde edilmektedir.

Bu metot ilk olarak Suresh ve Yang (1994) tarafından ortaya konmuştur. Diferansiyel geometri teorisini kullanarak, yan artış miktarını kesici takım yarıçapına, çıkıntı yüksekliğine ve eğrilik yarıçapına bağlı olarak bulmuşlardır. Eğrilik yarıçapını, bir yüzeyde en yakın iki nokta arasındaki en kısa eğri olan ve jeodezik eğri olarak da isimlendirilen eğri doğrultusunda hesaplamışlardır. Çıkıntı yüksekliğinin jeodezik eğri boyunca ölçülmesi varsayılmaktadır, ama diğer doğrultulara göre daha hassas olduğu kanıtlanmamıştır.



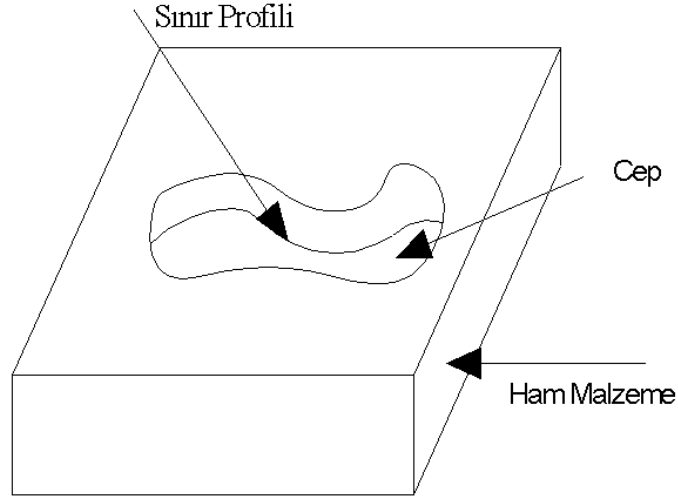
Şekil 3.6 Sabit çıkıntı yüksekliğine göre işleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Bu metotta, bir master takım yolu ilk olarak bir sınır eğrisinin seçilmesiyle belirlenir. Master yol üzerindeki her bir yol için, çıkıntı yüksekliğine uygun bir şekilde paralel noktalar oluşturulmaktadır. Bu noktalardan geçen bir spline eğri uydurularak ileri artış miktarı tespit edilmektedir. Daha sonra bu spline eğri, yeni bir master takım yolu gibi kullanılmakta, bu yol sonraki yolun oluşturulması için tekrarlama metodunun bir başlangıç noktası olarak alınmakta ve tüm parça yüzeyi tarandıktan sonra işlem sona ermektedir.

Bu metot herhangi bir yüzey tipine uygulanabilmektedir. Bu metodun bazı serbest şekilli yüzeylere uygulanmasıyla kesici takım verilerinin boyutunda önemli bir azalma olduğu Suresh ve Yang tarafından belirtilmiştir. Bu metodun hesaplama karmaşıklığı probleminden başka diğer bir eksikliği ise, nümerik hatalara eğilimli olmasıdır. Yeni takım yolunun oluşturulması önceki takım yolunu temel aldığı için, nümerik bir hata yeni yola da taşınabilir ve hata artabilir. Genelde, sabit çıkıntı yüksekliğine göre işleme izo-parametrik yada izo-planer işlemeye göre daha yüksek işleme verimine sahiptir. Buna rağmen, hesaplama karmaşıklığı, optimal başlangıç master takım yolunun seçimi, birleşik yüzeylere uygulanması gibi problemleri ileriki çalışmalara bir konu teşkil etmektedir.

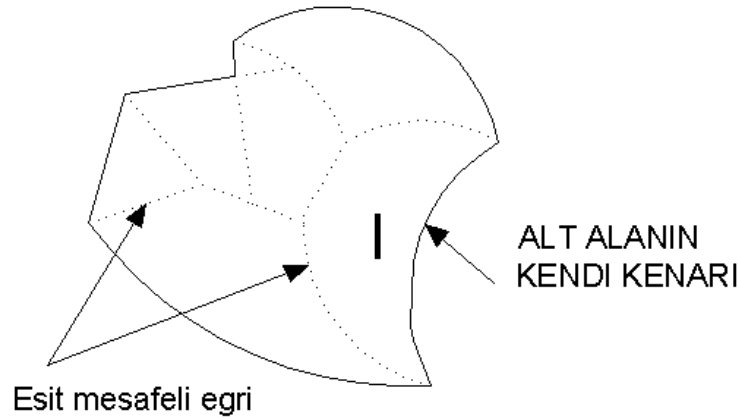
3.4 Cep Boşaltma

Cep boşaltma işlemi, verilen bir kapalı şekle uygun şekilde fazla malzemenin kaldırılmasında kullanılır. Şekil 3.7'de basit bir cep boşaltma görülmektedir. Takım yolu sınır eğrilerin kaydırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu işleme metodu, daha çok kalıp boşluklarının işlenmesinde kullanılmaktadır.



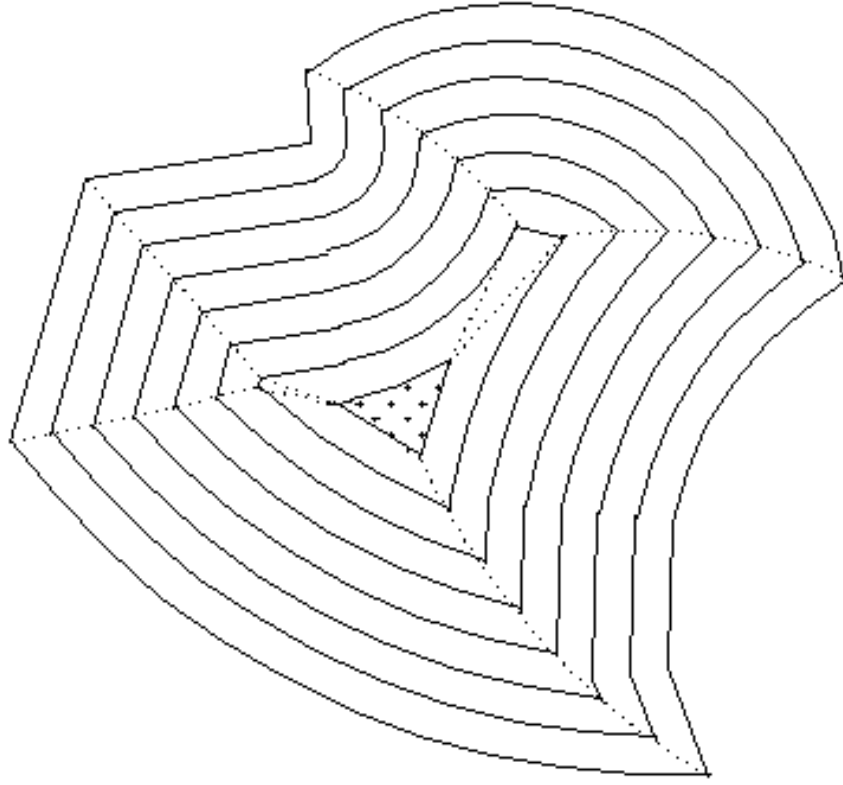
Şekil 3.7 Basit bir cep boşaltma işlemi. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Yapılan çalışmalar arasında Persson'un ilk çalışması (1978) konkav ve konveks ceplerin nasıl frezelenebileceğine ait bir prosedür içermektedir. Persson, yolları oluşturmak için iki aşamalı bir prosedür kullanmıştır. İlk aşamada, tüm cep alanı bir alt alan içerisindeki her bir nokta, en yakın cep kenarını paylaşacak şekilde parçalara ayrılır (Şekil 3.8). Alt alan eşit mesafeli eğrinin hesaplanmasıyla elde edilir. Eşit mesafeli eğri iki sınır eğrisine eşit mesafede olan bir eğridir. Eğer iki sınır eğrisi yay ise eşit mesafeli eğri bir yay olacaktır.



Şekil 3.8 Eşit mesafeli eğrilerle alt alanlara bölünmüş. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Sınır eğrisi yay ve doğru parçası ise eşit mesafeli eğri yay olacaktır. Sınırlar doğru parçalarından oluşuyorsa bu durumda eşit mesafeli eğri doğru parçası olacaktır. Alt alanların oluşturulmasından sonra, her bir kenar eğrisi alt alana uygun şekilde takım yolunun oluşturulması için kaydırılır. (Şekil.3.9).



Şekil 3.9 Şekil 3.8’de görülen cep için takım yolları. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Ne yazık ki Persson bu metodu detaylı olarak açıklamamıştır. Bu çalışmada ileri ve yan artış miktarlarının düşünülmediği görülmektedir. Ayrıca, eşit mesafeli eğrinin hesabı için geliştirilen bu metot sadece dairesel yay ve doğru parçalarından meydana gelen sınır profilleri ile sınırlıdır.

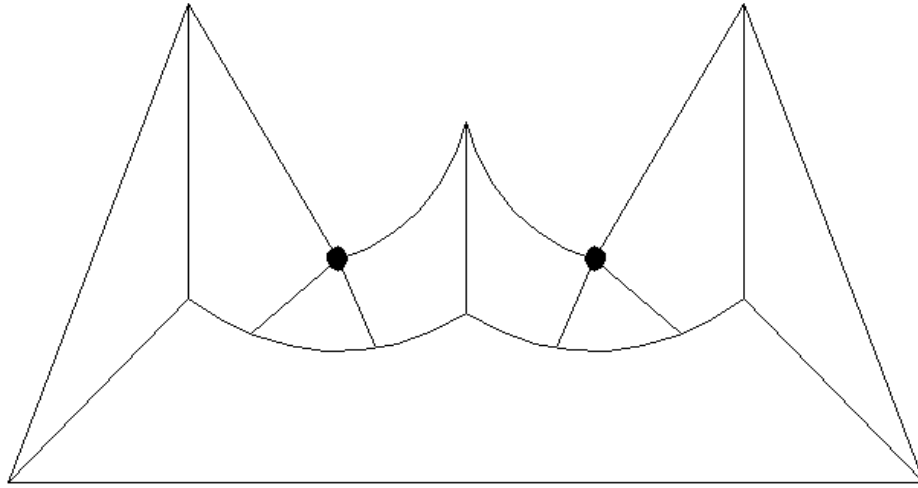
Suh ve Lee (1990) yaptıkları araştırma sonucu serbest şekilli bir yüzey üzerinde iki uzaysal eğri arasındaki eşit mesafeli eğrinin hesaplanmasının güç olduğunu belirtmişlerdir. Cep sınırlarının B-Spline eğrileri şeklinde tanımlanmasını mümkün kılan bir cep işleme metodu geliştirmişlerdir.

Persson’un tersine, takım yolunu cep sınır eğrilerin içe doğru büzülmesiyle, ada profillerinin ise dışa doğru genişlemesiyle oluşturmuşlardır. Bir cebin 3B sınır eğrisi 2B eğriye izdüşümü alınarak dönüştürülmektedir.

Tiller ve Hanson'un alt bölme metodunun bir modifikasyonunu, 2B kaydırma eğrilerini oluşturmak için kullanmışlardır. Çıkıntı yüksekliği temel alınarak kaydırma değeri hesaplanmaktadır. Daha sonra 2B kaydırma eğrileri belirli bir kurala bağlanmış yüzey şekli için Z eksenine doğrultusunda süpürülmektedir. Son olarak, takım yolunun oluşturulması için parça yüzeyi ve ruled yüzeyin ara kesit eğrileri hesaplanmaktadır.

Bu çalışma ile ilgili bazı problemler vardır. İlk problem, Marshall ve Griffiths'in (1994) belirttiği gibi, kullandıkları ofset tekniği çok adalı cepler için uygun değildir. İkinci problem ise, tek bir ada durumu için kesme sırasının tespit edilmiş olmasıdır. Karmaşık parçalar için yeni bir işleme sırası algoritması gereklidir.

Held (1994) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Voronoi diyagramı, monotonic cepler gibi hesaplanabilir belirli geometri kavramlarını kullanarak çok sayıda ada içeren 2B ceplerin kaydırma eğrilerini oluşturmuşlardır. Voronoi diyagramı bölgelere ayrılmış cep şekillerini içermektedir (Şekil.3.9).



Şekil 3.9 Düzlemsel bir cep boşaltma işleminin Voronoi diyagramı. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Voronoi diyagramının temel fikri aslında Persson'un alan bölme yöntemiyle aynıdır. Bununla birlikte, geometrik hesaplamaların kullanılmasıyla Held'in bu yaklaşımı daha somut görünmektedir. Held, işleme sırasını şu şekilde tanımlamaktadır. İlk olarak, her bir takım yolu bir düğüm noktası olarak düşünülmektedir, ikinci adımda, komşuluk ilişkileri temel alınarak, düğüm noktaları bir grafik oluşacak şekilde birleştirilir. Üçüncü adımda ise, cep sınır eğrileri istenilen miktar kadar kaydırılmakta, Voronoi diyagram eğrileriyle kesiştiği noktalar tespit edilerek takım yolu elde edilmektedir. Held, güvenilir bir 3B Voronoi diyagramı olmadığı için bu yaklaşımının hala 2B cep işlemleri için sınırlı olduğunu itiraf etmektedir.

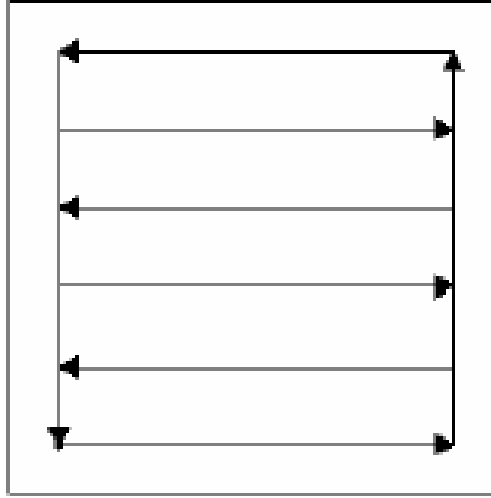
Genel olarak cep boşaltmaları için olan takım yolları sadece cep özelliklerine uygundur. Hesaplama karmaşıklıklarından dolayı, mevcut cep işleme algoritmaları yüzey tipleriyle sınırlıdır.

Takım yollarının oluşturulması için oldukça önemli olan 3B Voronoi diyagramı oluşturma algoritmalarının hala geliştirilmesi gerekmektedir. Cep işlemede günümüze kadar gelen yaklaşımlar ise şöyledir.

3.4.1 Zig-Zag Cep İşleme

Bu metotta zig-zag düzen önce kesilir. Daha sonra ilk islemeden geri kalan tüm çapakları ortadan kaldıran dış takım yolu kesilir. Cebin biçimine yada ada sayısına aldırış etmeksizin zig-zag in başlangıcında sadece bir on işleme yeterlidir.

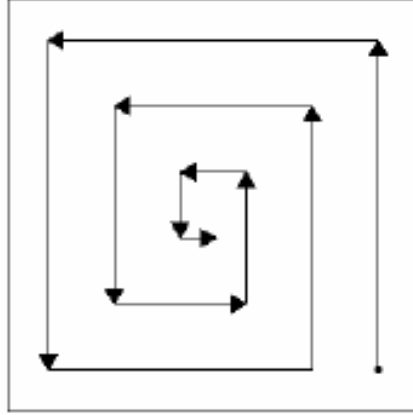
Takım zig-zag işleme esnasında ve dıştaki takım yoluna baslarken çekilebilir veya çekilmeyebilir. Bu metot ayrıca merdiven işleme olarak da bilinmektedir. Şekil 3.10 da bu yöntemle işlenmiş kare kesitli bir cep gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Zig-Zag İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)

3.4.2 Spiral Dış İşleme

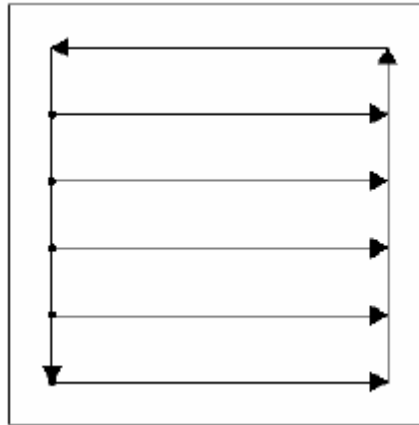
Bu metotta, cep sınır profili içe doğru belli aralıklarla ofsetlenir. İşlem en dış ofset profilinde baslar ve bu işlem tamamlandıktan sonra, tüm kalan bölge islenene kadar diğer ofsete geçilir. Bu metot ayrıca pencere-çevreleme metodu olarak da adlandırılır. Şekil 3.11 de kare kesitli bir cebin spiral-dış metoduyla işlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Spiral Dış İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)

3.4.3 Doğrusal İşleme

Şekil 4.13 de gösterildiği üzere bu metotta, cep köşeleri ilk önce islenir. Daha sonra ilk işleme çizgisine 90° lik acılarla takimi sağ uç noktaya yerleştirerek, sol uç noktaya kadar en üst noktadan en alt noktaya islenir. Takim bir çizginin son noktasına çekilir ve tekrar yerleştirilmeden önce bir sonraki başlangıç noktasına çekilir. Bu metot hemen hemen hiç kullanılmaz.



Şekil 3.12 Paralel İşleme. (Ersoyoğlu vd., 2001)

Tüm bu metotların kendine özgü avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Zig-Zag cep işleme metodunun uygulanması durumunda takimin daha fazla durma noktası ve dönüşlerine neden olmaktadır. Ayrıca, Spiral-Dış işleme metodunda, pasolar arası takim hareketi poligon üzerinde islenmemiş alanlardan kaçınmak için daha büyük olmak zorundadır. Tüm bu faktörler işleme zamanının artmasına neden olmaktadır.

3.5 Alan Doldurma Eğrileri

Alan doldurma eğrileri metodu daha iyi işleme kalitesi elde edilmesi için takım yolu oluşturmada kullanılmaktadır. Bir alan doldurma eğrisi, iki boyutlu birim kare içerisindeki her noktayı kapsamaması nedeniyle dikkate değerdir. Böylece, bir freze takımı alan doldurma eğrisini takip ettiğinde, tüm parça yüzeyi istenilen toleranslarda frezelenebilir.

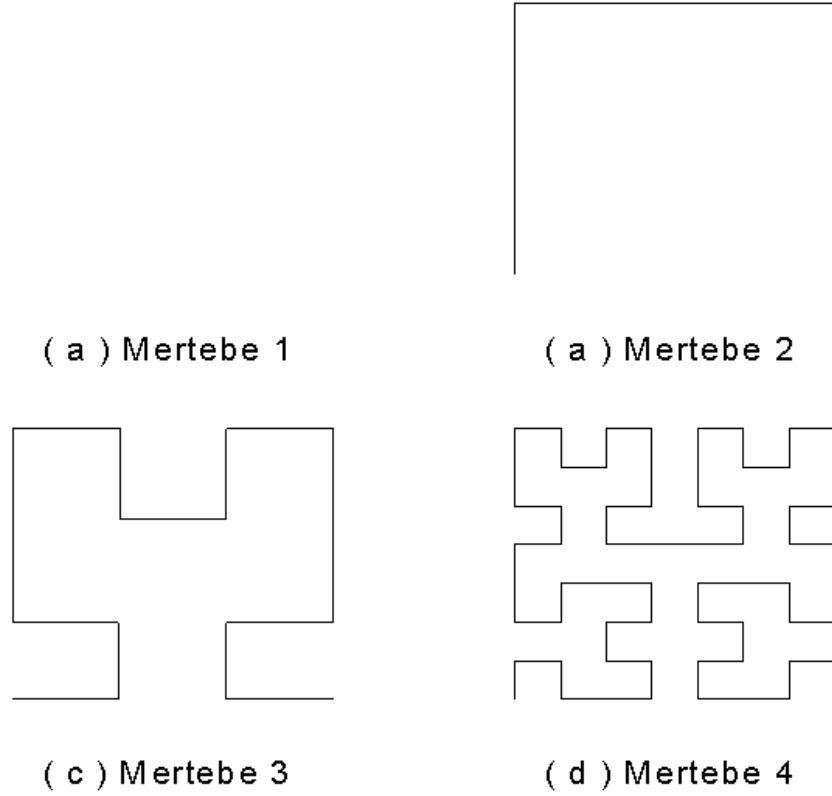
Araştırmacılar takım yolu oluşturmada Hilbert eğrilerinin faydalı olacağını önermiş ve üç eksenli tezgâhlarda konu üzerine denemeler yapmıştır. Bu esnada diğer araştırmacılar ise Moore doldurma eğrilerini kullanarak araştırmalar yapmıştır. Alan doldurma eğrilerinin bilgisayarlaştırılmış olarak türetilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Sayısal kontrollü makine takımları daha hassas işlenmiş yüzeyler elde etmek için endüstriyel uygulamalarda kullanılmışlardır.

Genellikle alan doldurma eğrileri düzgün ya da düzenli pürüzlülükte yüzeyler elde etmek istenildiğinde kullanılmaktadır. Bununla beraber bazen düzenli olmayan yüzeylerde (Örn. tribün bıçakları, uçak kanatları yada otomobil tamponları) işlem gerektirmektedir. Geleneksel takım yolları yüzey boyunca paralel ilerleyen çizgi çizgi yapıları izlemektedir. Bu genellikle başarılı sonuçlar verir Fakat bu verimsizlik ve yüzey için istenmeyen sonuçlar doğurur.

Çizgi çizgi yaklaşımı istenen boşluğu doldurmada çok kolay bir algoritmadır. Bununla beraber bir şekli boyayan bir ressamı veya boyama kitabını boyayan bir çocuğu izleyen birisi doğru yapısındaki çizgilerin bir alanı doldurmada gereksiz olduğunu görebilir. Alan doldurma eğrilerinin matematiksel teorisi sadece bir uygulama olarak kullanılabilir. Alan doldurma eğrileri yinelemeli algoritmalar ve bilgisayar grafikleri için rahatlıkla kullanılabilir.

Alan doldurma eğrileri mertebelerine göre belirlenir. N mertebeli bir eğri 4 tane $N-1$ mertebeli eğrilerden meydana gelmektedir. Şekil 3.13'de alan doldurma eğrileri görülmektedir. Alan doldurma eğrilerinin mertebesi işleme hatalarının toleranslar içerisinde kalmasını sağlayacak şekilde tespit edilmektedir.

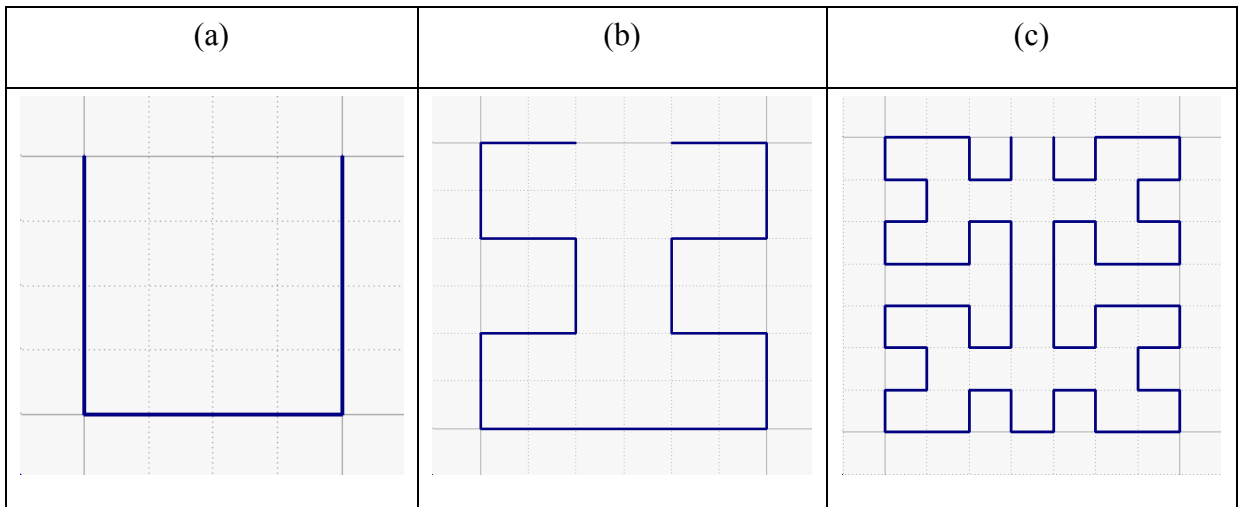
Bununla birlikte, takım yolu parçaları kısa ve komşu parçalarla arasında keskin dönüşler var ise, alan doldurma eğrileri çeşitli dinamik problemlere neden olmaktadır. Bu takım yolu tipi uygulamada nadiren kullanılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan alan doldurma eğrileri Moore, Sierpinski, Hilbert ve Peano tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 3.13 Alan doldurma eğrileri. (Ersoyoğlu vd., 2001)

3.5.1 Moore Alan Doldurma Eğrileri

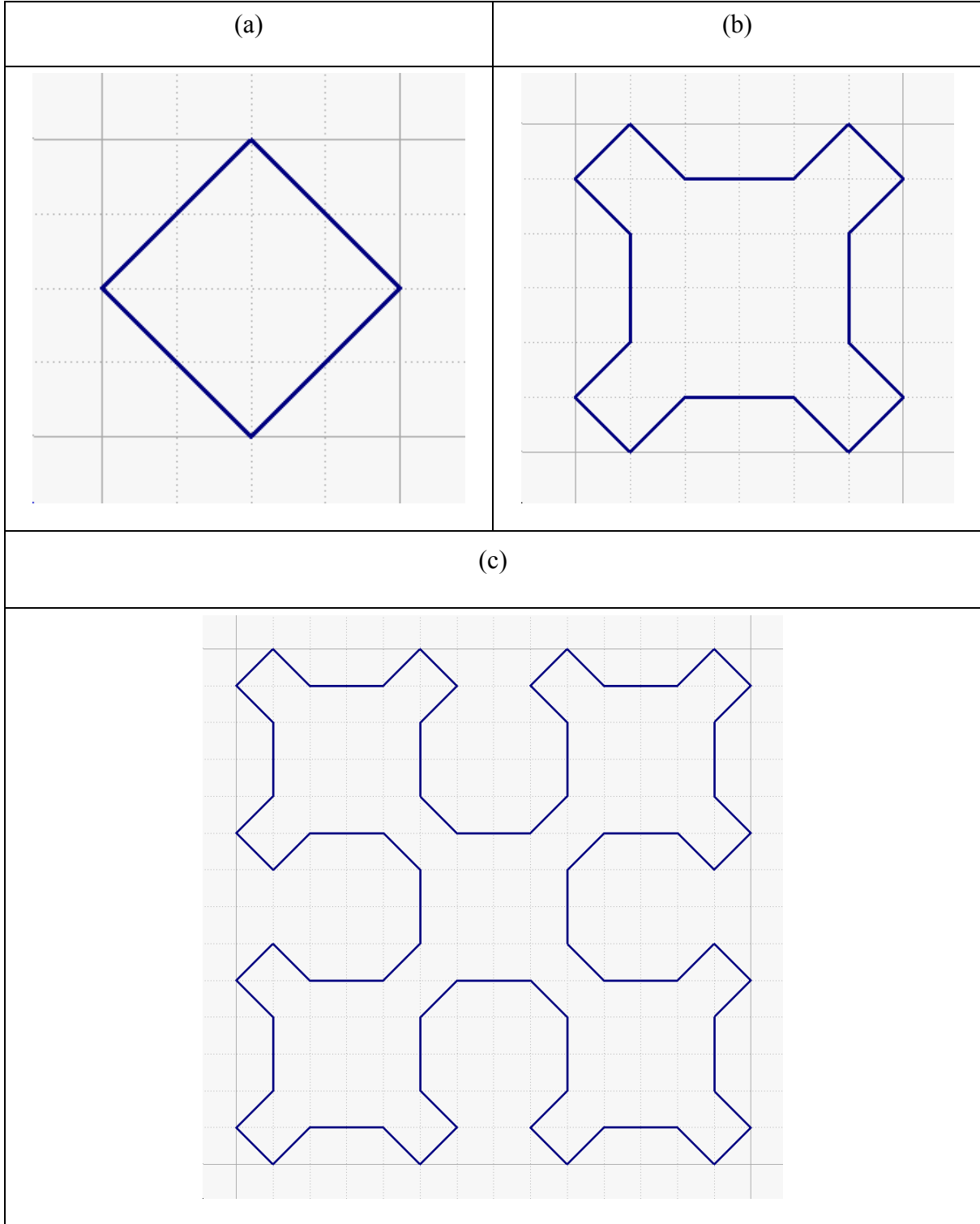
Moore Eğrileri birim kareden oluşan hücreleri kullanır. N mertebeli bir eğri $4N$ adet hücreden oluşmaktadır. Moore eğrilerinin bir özelliği başlamış oldukları hücrenin sadece bir hücre yanındaki hücrede sonlanırlar. Aşağıda mertebeleri sırası ile 1, 2 ve 3 olan Moore eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.14 Mertebelerine göre Moore eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3.

3.5.2 Sierpinski Alan Doldurma Eğrileri

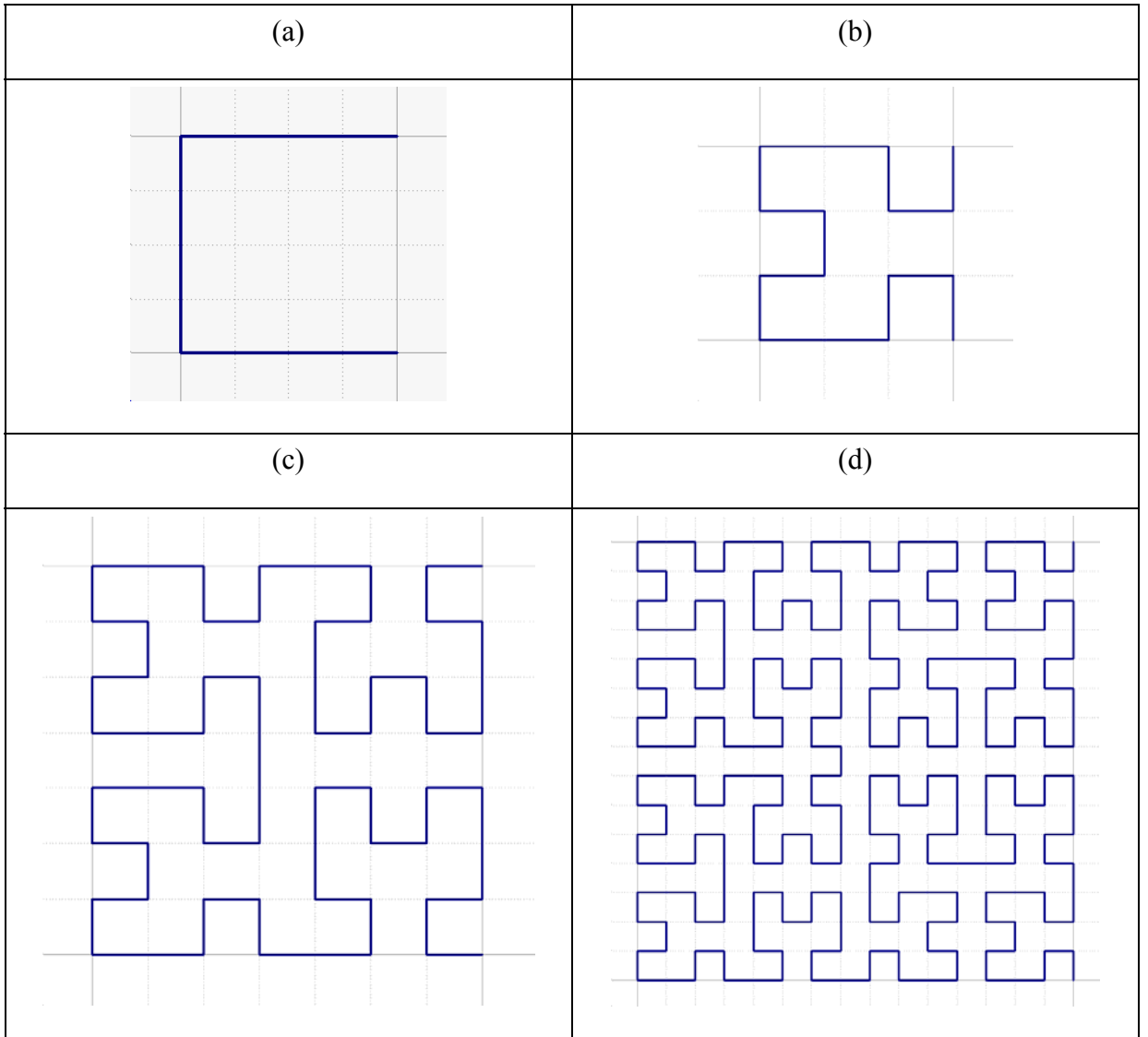
Sierpinski alan doldurma eğrilerinde eğrinin kullanılacağı alan üçgenler ile bölünür ve bu üçgenlerin ağırlık noktalarından birim çizgi geçirilerek Sierpinski Alan doldurma eğrisi elde edilir. Aşağıda konu ile ilgili birden üçüncü mertebeye kadar olan alan Sierpinski alan doldurma eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.15 Mertebelerine göre Sierpinski eğrileri (a) Mertebe1 (b) Mertebe2 (c) Mertebe3.

3.5.3 Hilbert Alan Doldurma Eğrileri

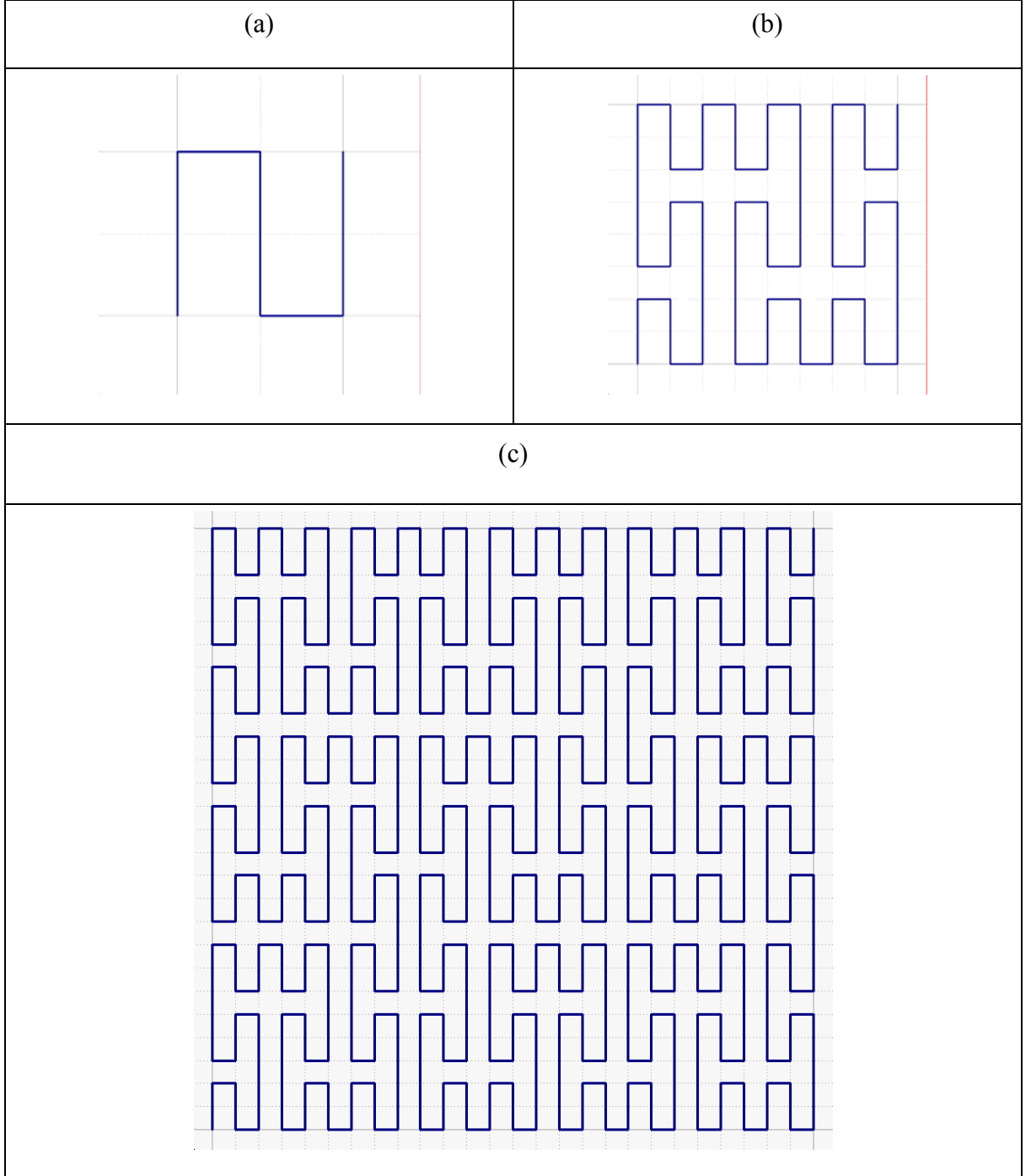
Hilbert eğrilerini ilk defa 1994 yılında Griffiths isimli araştırmacı kullanmıştır. Bu tip eğriler özellikle ince işleme gereken yerlerde takım yoğunluğunu arttırdığından dolayı kullanılır. Takım yoğunluğu arttığından dolayı düşük işleme verimliliği ve uzun takım yolları meydana gelmektedir. Bunların yanında Hilbert eğrileri takımın yönünün sürekli değiştirilmesini gerektirdiğinden işleme süresini arttırmakta ve büyük kinematik problemlere yol açmaktadır. Hilbert eğrileri de Moore eğrilerinde olduğu gibi birim kareden oluşan hücreleri kullanır. N mertebeli bir eğri $4n$ adet hücreden ve $4n-1$ adet çizgiden oluşmaktadır. Hilbert eğrilerinin özelliği başlamış oldukları hücrenin karşı tarafındaki en son hücrede son bulmalarıdır. Şekil 3.16'da örnek Hilbert eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.16 Hilbert eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3 (d) Mertebe 4.

3.5.4 Peano Alan Doldurma Eğrileri

Peano eğrileri kare biçimli hücreleri kullanmaktadır fakat Hilbert eğrilerinden farklı olarak her bir hücre 9 küçük kare biçimli hücreye bölünmüştür. Şekil 3.17’te Peano alan doldurma eğrisine ait örnekler verilmiştir.

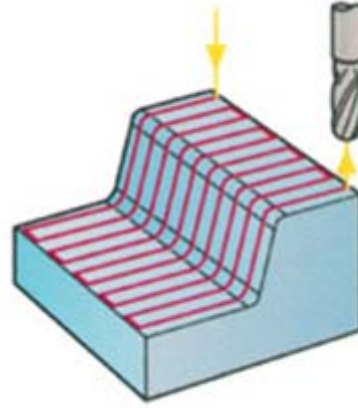


Şekil 3.17 Mertebelerine göre Peano eğrileri (a) Mertebe 1 (b) Mertebe 2 (c) Mertebe 3

4. İŞ PARÇASI İŞLEME STRATEJİLERİ

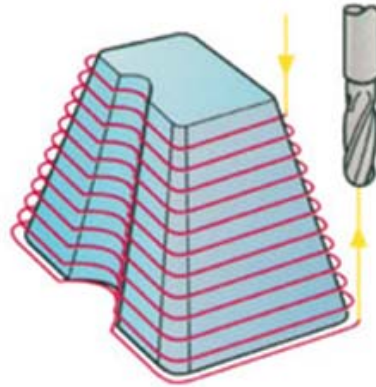
4.1 Finiş İşleme Stratejileri

Kesme hareketleri X, Y eksenlerine veya kullanıcının belirlediği açığa paralel olarak tek yönde veya her iki yönde yaratılabilir. Üstün takım yolu düzenleme teknikleri ile raster yaratılmış bir takım yolunun tek yönde kesmesi, istenilen açığa kadar sınırlanabilmesi vs. mümkündür.



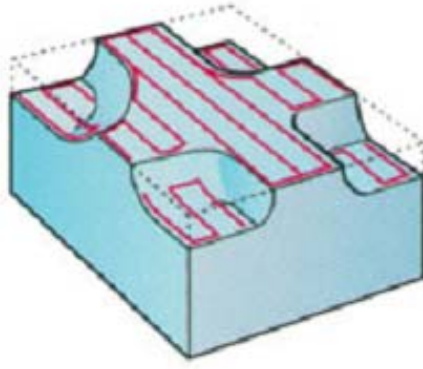
Şekil 4.1 Raster işleme

Kesici takım parçayı kademeli olarak değişen Z yüksekliklerinde dolaşmak suretiyle kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sayede dik duvarlarda kalemin hep sabit derinlikte (isteğe bağlı min.-max. cusp yüksekliği kontrol edilebilir) çalışması sağlandığından hem talaş yükü kontrol edilir hem de daha hassas dik yüzeyler elde edilir.



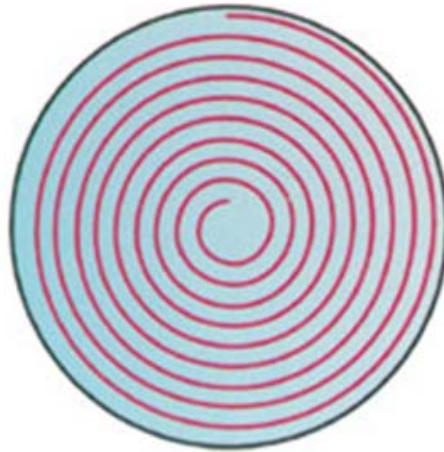
Şekil 4.2 Sabit Z işleme

Sığ bölge işleme yöntemiyle istenilen alt ve üst açı limitlerinde belirlenen bölgeler işlenebilmektedir. Bu yöntem, genellikle 'Sabit Z' yöntemi ile birlikte kullanılır ve daha evvel işlenmiş dik duvarları tekrar işlemeye gerek kalmadan yatay kısımlarda hassas yüzey kalitesi elde edilir.



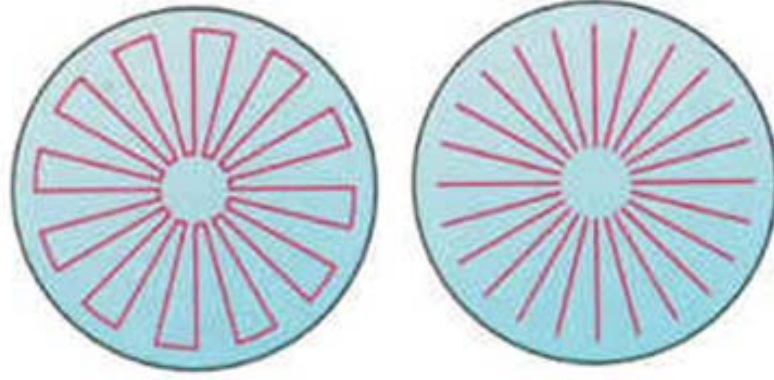
Şekil 4.3 Sığ Bölge işleme

Kesici takım merkezden dışarı doğru bir spiral şeklinde hareketine devam ederek kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Spiral stratejileri çoğunlukla High-Speed (Yüksek hızlı) işleme yöntemlerinde kullanılmakta ve dairesel parçalarda çok iyi yüzey kalitesi sağlamaktadır.



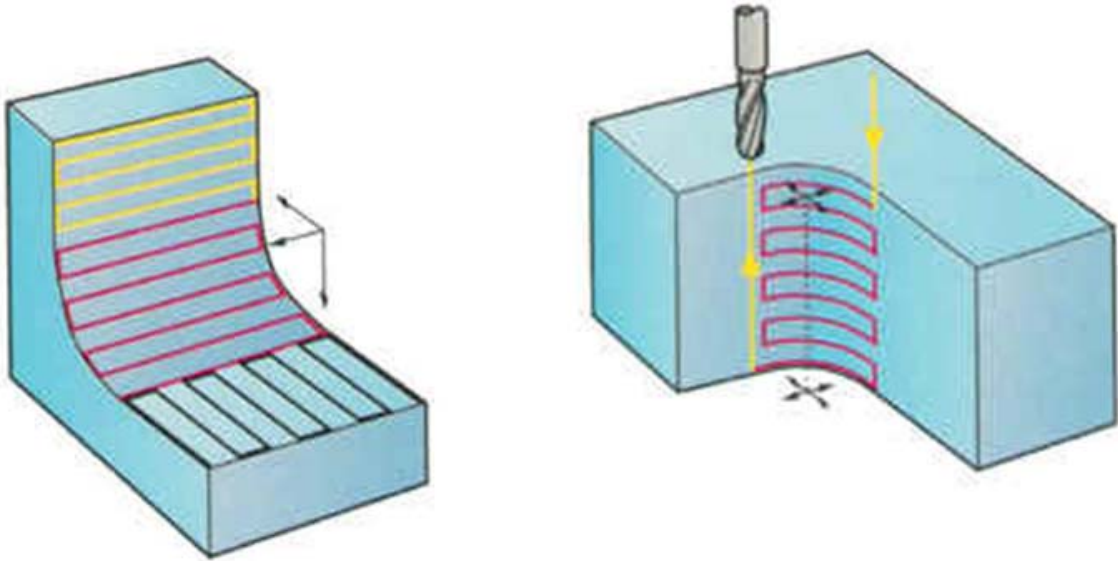
Şekil 4.4 Spiral işleme

Yüksek yüzey kalitesinin istendiği dairesel parçalarda kullanılan bu yöntemde kullanıcı tarafından belirlenen bir merkezden 0-360 derece arasında belirlenen açılar arasında radyal takım yolları oluşturur.



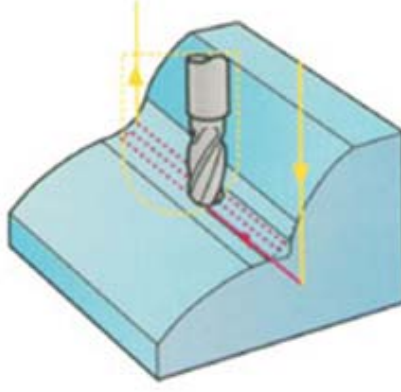
Şekil 4.5 Radyal işleme

Kalıbın belli bir bölgesinin işlenmesinde tercih edilen bu yöntemde, kesici takım yolları seçilen bir düzlem, doğru veya bir noktada oluşturulan kılavuz izlerin parça üzerine yansıtılmasıyla belirlenir. Özellikle balkon altı diye tabir edilen bölgelerin saptanması ve işlenmesinde uygundur.



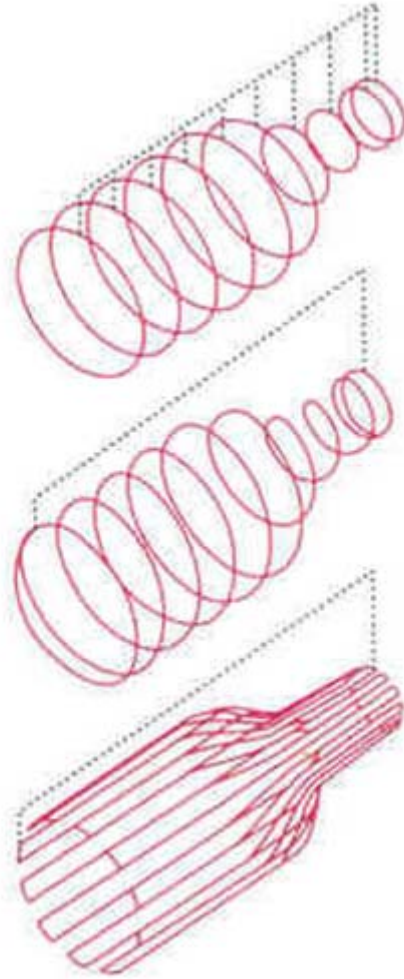
Şekil 4.6 Projeksiyon işleme

İç köşelerde kalan malzemeler, kesici takımın gidip-gelme ve boyuna kesme hareketleri yapmasıyla otomatik olarak temizlenmektedir. Parça üzerinde bir evvelki takımdan kalan dik ve yatay bölgeler istenilen ayırım açısında otomatik olarak saptanarak dik olan bölgelere sabit-Z, yatay olan bölgelere de offset kriterli takım yolu program tarafından yine otomatik olarak yazılır.



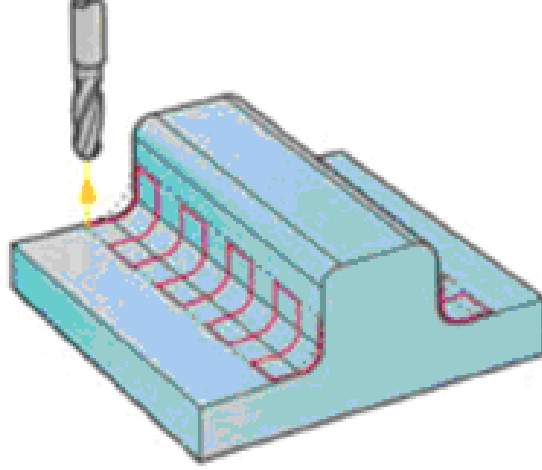
Şekil 4.7 Köşe işleme

Döner tablaya sahip frezelerde uygun parçaların işlenmesinde kullanılan bu yöntemde dairesel, spiral veya doğrusal işleme stratejileri ile 'Sabit Z' yönteminden daha hızlı bir işleme sağlanmaktadır.



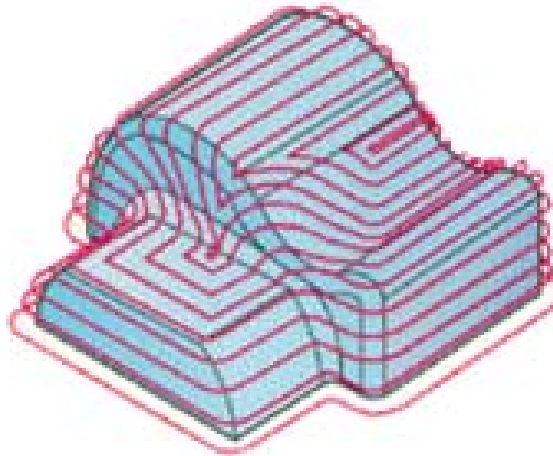
Şekil 4.8 Dönel işleme

Bu yöntem bir evvelki büyük çaplı kesici takımdan arta kalan yerlerin daha küçük çaplı kesici takımla otomatik olarak temizlemesi için kullanılır. Böylece sadece işlenmeyen yerler işlenirken kesme zamanı azaltılmaktadır.



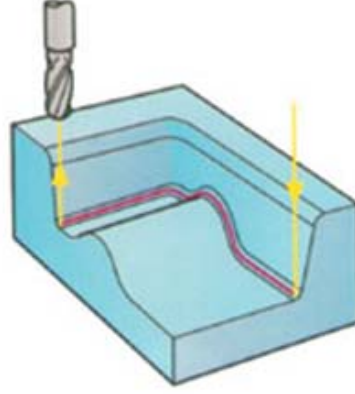
Şekil 4.9 Rest işleme

Bu işleme yöntemi ile takım hatvesi modelin yatay ve dik duvarlarında eşit miktarda yan adım kullanacağından süper finiş uygulamaları için uygundur.



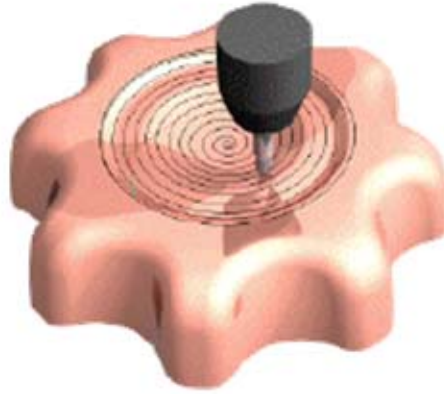
Şekil 4.10 Üç boyutlu ofset finiş işleme

Bu yöntemde küçük çaplı kesici takım sadece iç köşeleri dolaşarak hem buralardaki fazla malzemeleri temizlemekte hem de 3 boyutlu profillerin işlenmesini sağlamaktadır.



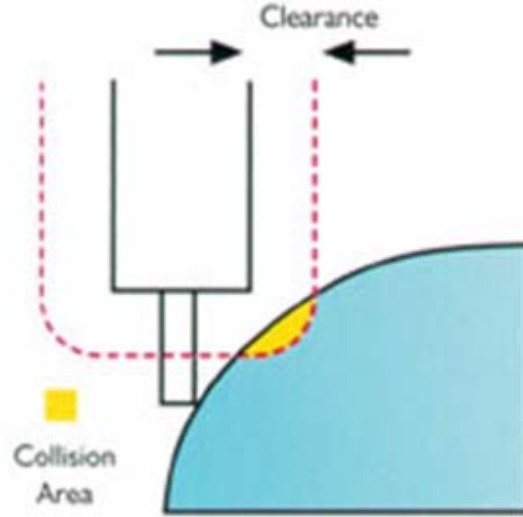
Şekil 4.11 Pencil işleme

3D Ofset işleme yöntemine benzer bu yöntem de yüzey üzerinde spiral şekilde adım atılmaktadır



Şekil 4.12 Üç boyutlu ofset spiral finiş işleme

Kesici takımın derin yerlere ulaşması esnasında kalem tutucunun modele çarpmasını inceleyen ve engelleyen Collision Check olanağı da mevcuttur. Kalem tutucunun çarpması saptandığında, çarpma derinliği, çarpma olmaması için gerekli minimum kesici takım uzunluğu, çarpmanın olduğu bölgeler ekranda gösterilmekte ve verilen takım boyunun çalışabileceği takım yolu ve uzun takımın çalışacağı takım yolu otomatik olarak oluşturulmaktadır. Bu kontrol yöntemiyle gerekli takım boyunun saptanması, kesme öncesi olası hatalardan sakınmayı sağlar. Oluşturulan takım yolları istenildiğinde komple proje olarak saklanabildiğinden, ileride aynı takım yolları üzerinde değişiklik yapılması gerektiğinde çok hızlı olarak gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.13 Çarpma kontrolü

4.2 Kaba İşleme Stratejileri Ve Özellikleri

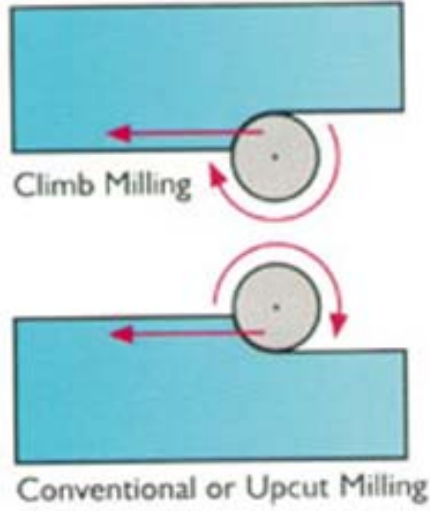
Günümüzde CAM programları içerisinde bulunan ve kullanıcıya kolayca uygulama kolaylığı veren birden çok kaba işleme stratejisi mevcuttur. Kullanıcı tarafından oluşturulan kaba işleme takım yolları üzerinde yapılacak değişiklikler çok fazla zaman almadan CAM programları tarafından sadece birkaç saniye içerisinde uygulamaya konulabilmektedir.

Kaba işleme stratejileri kullanıcının zamandan ve maliyetten tasarruf etmesi açısından çok önemlidir. Aşağıda günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı kaba işleme stratejileri hakkında bilgiler verilmiştir.

Çok hızlı tekrar hesaplama zamanı özelliği, hesaplanmış kaba talaş takım yollarında yapılacak kriter değişiklikleri takım yolunun tekrar baştan hesaplanmasını gerektirmez, yapılan değişiklikler sadece birkaç saniye içerisinde gerçekleştirilir.

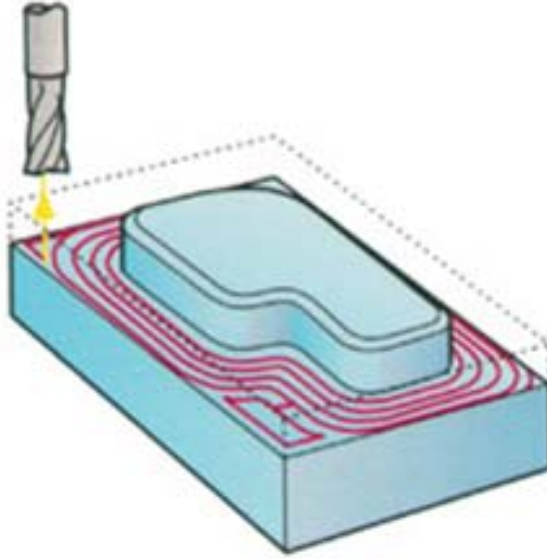
Takımın kesme yönünün kontrolü. Bu iki seçenek dışında parça kesme işlemini minimum zamanda tamamlayabilmek için bu yönlerin her ikisini otomatik olarak kullandıran özellikle işleme zamanını azaltabiliriz.

Özel Blok Tanımlama özelliği ile CAM programı herhangi bir CAD paketinde yaratılmış modeli -Blok- olarak kullanabilir. Yapılacak işlemlerde bu blok dikkate alınarak işleme zamanlarında çok büyük kazançlar sağlanır.



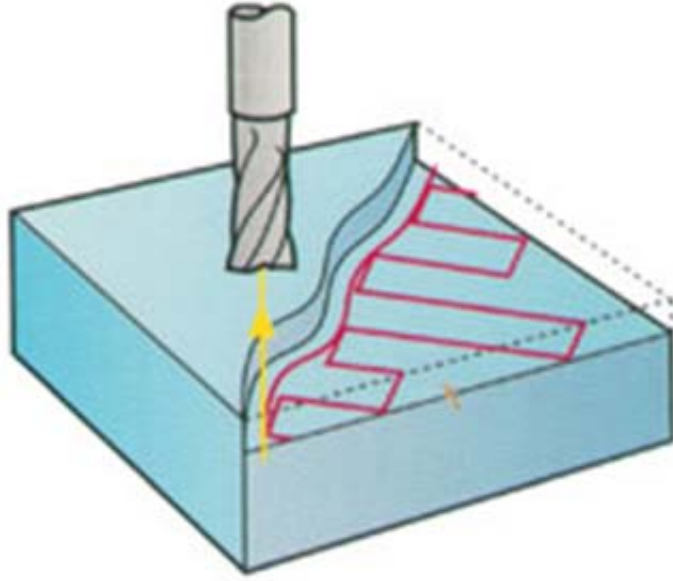
Şekil 4.14 Konvansiyonel (Upcut) ve ters kesme (Climb)

İçeriden dışarı, dışarıdan içeri veya otomatik seçenekleri ile modelinizi tanıyarak tezgah kesme zamanlarınızdan maksimum tasarruf sağlar. İstenen seçenek ile ofset yapılarak temizlenecek alanlardaki küçük bölgeleri en önce temizleyerek takımın zorlanacağı alanlar otomatik ortadan kaldırılır.



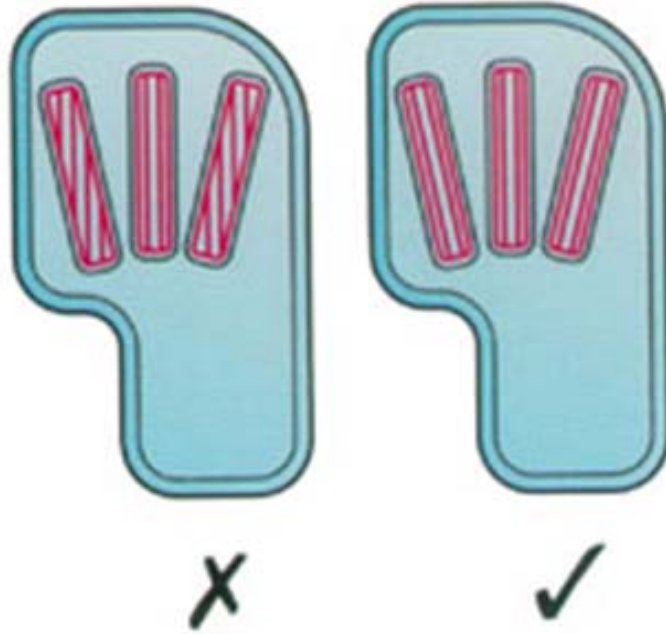
Şekil 4.15 Offset alan temizleme

Raster kaba kriterini kullanılırken veya tek başına kullanılan bu özellik sayesinde, Raster kriterinde belirtilen yan adımdan dolayı kalan malzemeyi temizleme veya döküm parçaya alan temizleme yapmadan işleme yapabilme mümkündür.



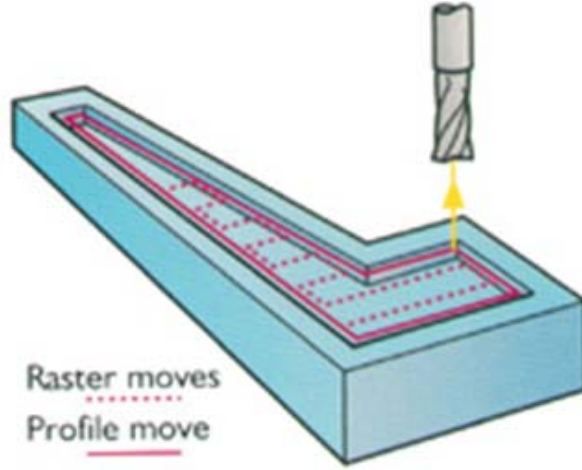
Şekil 4.16 Profil alan temizleme

Program kaba talaştaki Raster açısını otomatik olarak hesaplar ve takımın havada dolaşmasını minimuma indirebilmek için takım yolunu optimize eder.



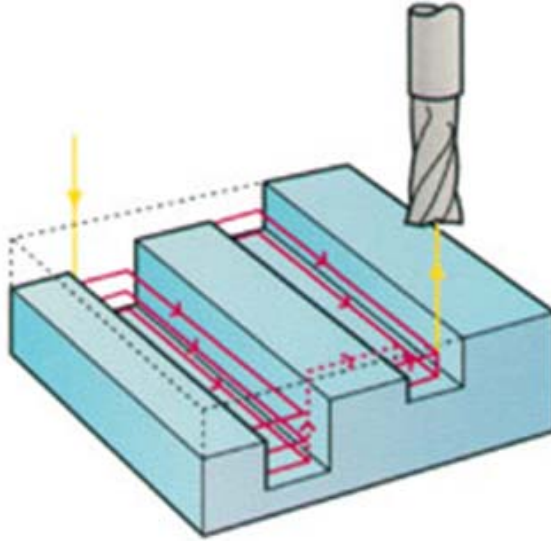
Şekil 4.17 Raster Kaba için otomatik açı.

Bu özellik sayesinde takımın bir sonraki hareketinde kaldıracağı talaş otomatik olarak saptanır ve bu bölgelere takım yolu yazılmaz.



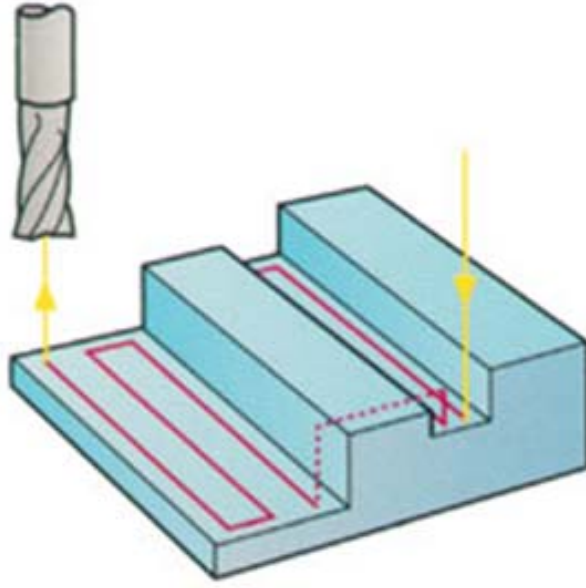
Şekil 4.18 Gereksiz hareketleri filitreleme

Takımın havada dolaşma zamanını minimize eden bu özellik ile model üzerinde bulunabilen ve otomatik olarak saptanan ceplerden ilk başlanan tam işlendikten sonra diğerine geçilir.



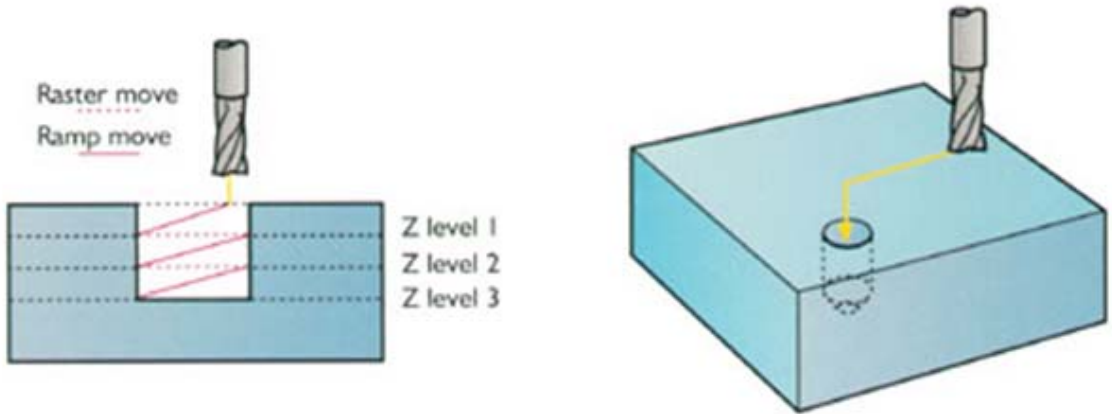
Şekil 4.19 Paket işleme

Takımın bölgeler arası hareketleri nasıl yapacağını belirten opsiyonlardan bir tanesidir. Skim seçildiğinde takım diğer bir bölgeye giderken minimum Z hareketi yaparak ulaşır. Bu da takımın her seferinde güvenli Z mesafesine çıkmasını minimize ederek parça işleme zamanlarını düşürür. Düzlemsel bölgeleri otomatik olarak bulma özelliğiyle model üzerinde yer alan düzlemsel bölgeler otomatik olarak bulunarak, bu bölgeler otomatik olarak işletilebilir.



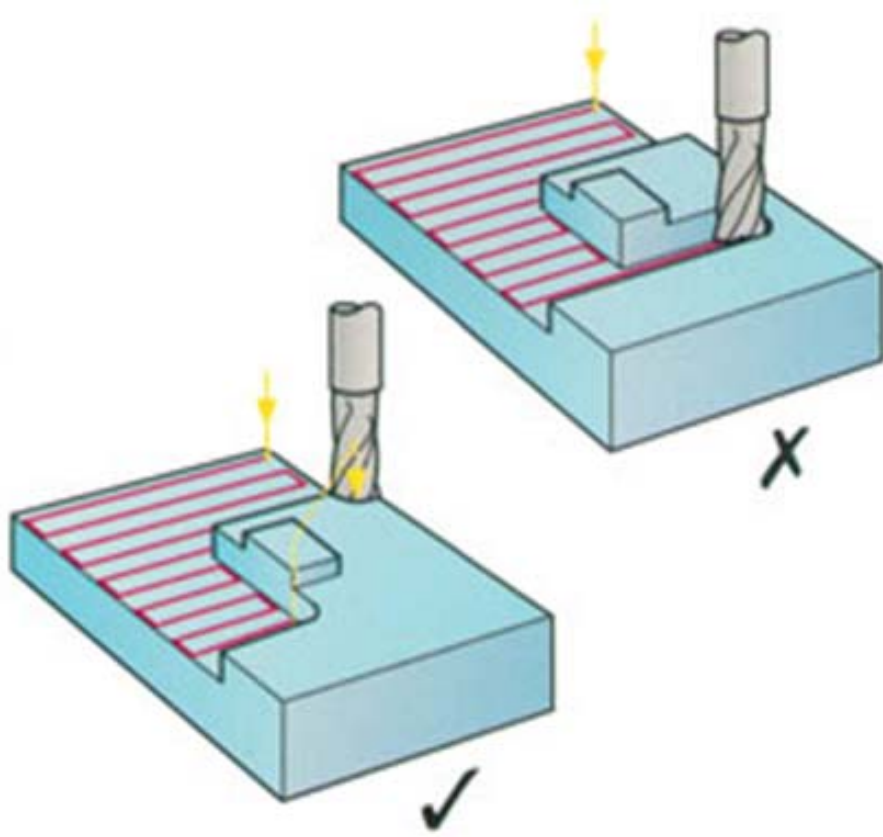
Şekil 4.20 Skim özelliği.

Kaba talaş kaldırma operasyonu esnasında otomatik olarak yaratılan Z Katmanları arasında takımın hareket şekli üç şekilde yaptırılabilir. Bunlar, katmanlar arası direk inme, kullanıcının istediği açıda rampa yaparak inme ve daha önceden blok üzerinde delinmiş bir delik kullanarak yapılabilir.



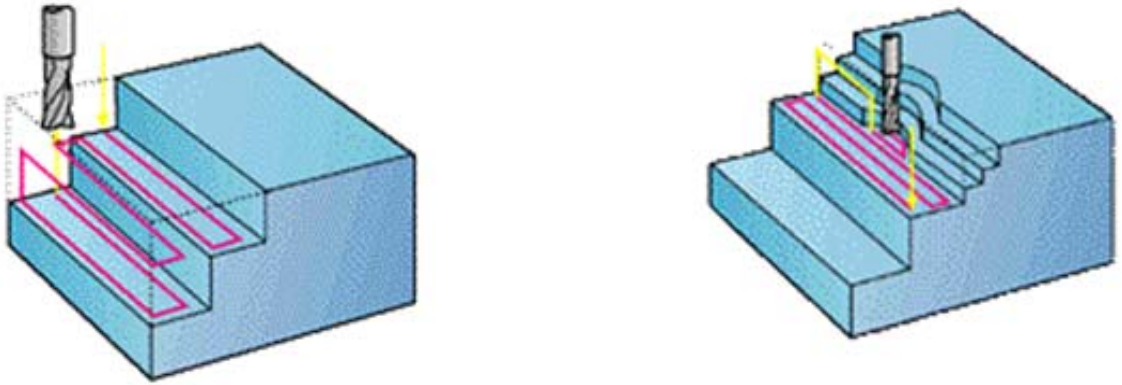
Şekil 4.21 Z katmanları arasında kesici hareketleri.

Kullanıcı tarafından verilen sabit yan adımlar tarafından tekrar işlem den geçirilerek, takımın tam ağız kesme problemleri minimize edilir. Böylece takım tam genişliği ile pasoya girmeyeceğinden takım ömrü arttırılır.



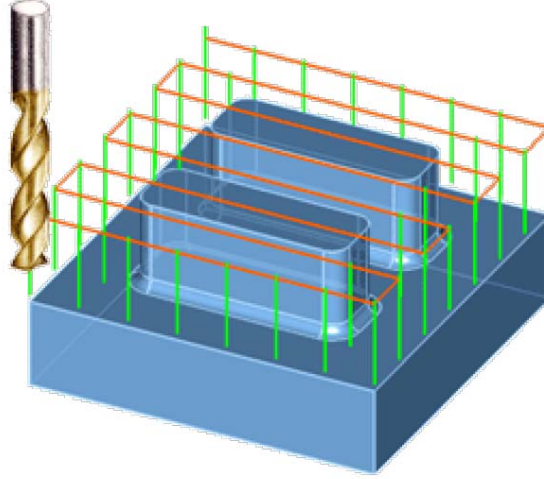
Şekil 4.22 Tam ağız kesmeleri minimize etme.

Bugüne kadar çoğu CAM paketinin finiş stratejileri bölümünde yer alan ve halen bazı paketlerde bulunmayan bu tekniği PowerMILL, kaba işleme stratejilerine de 1998'ten bu yana eklemiş bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde kaba talaşta da bir evvelki farklı takımdan kalan bölgeler otomatik olarak saptanarak mükemmel şekilde işlenebilme olanağı sağlanmaktadır.



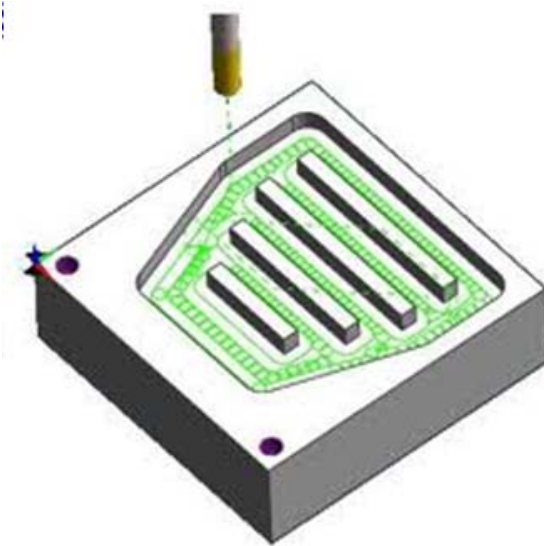
Şekil 4.23 Kaba talaşta kalan yerleri işleyebilme.

Dalarak kaba işleme yönteminde takım yolları, matkaplama yöntemini andırır. Dalarak kaba işleme yönteminde, işleme merkezinin Z ekseninde derin boşluklar kaldırmak için matkap tipi takım yolu kullanılır. Derin boşlukların kaldırılmasında etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.



Şekil 4.24 Dalarak kaba işleme.

Trokoidal işleme metodunda, takım iş parçası ile hafif temas koşullarında (kesici takımın sadece bıçak ağzı teması) trokoidal bir yol izleyerek iş parçasının hassas bir şekilde dilimlenerek işlenmesini sağlar.

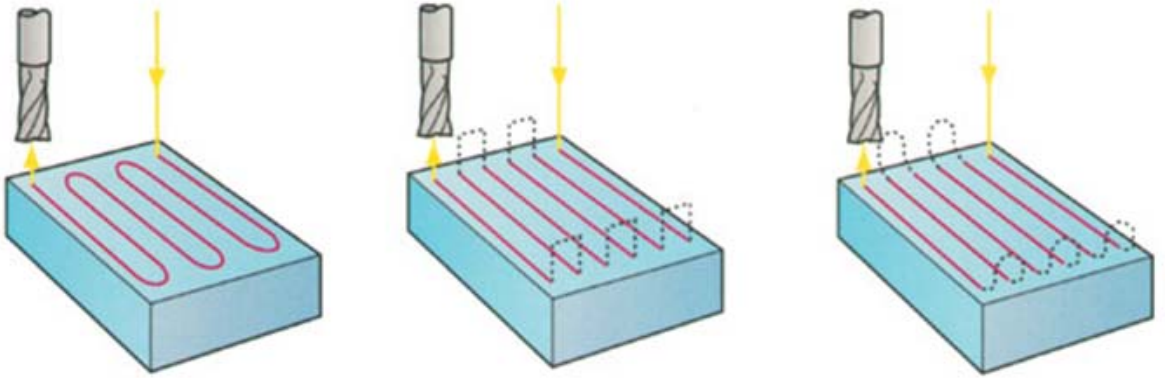


Şekil 4.25 Trokoidal İşleme

4.3 Takımyolu Düzenleme

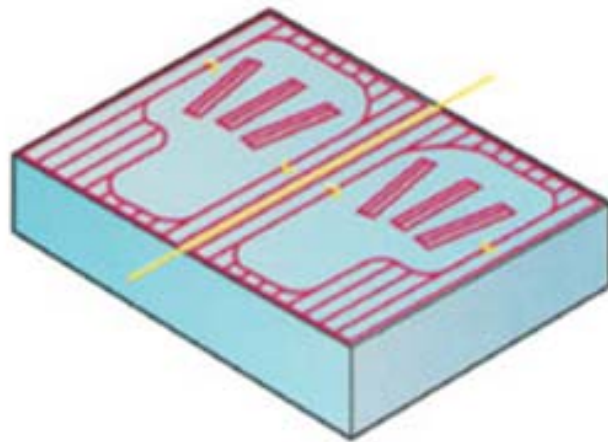
CAM programı ile hesaplanmış takım yolunun kırılması, çoğaltılması, taşınması ve ayna imajının alınması mümkündür. Ayrıca kesici takımın takım yolunun başlangıcı ile sonu arasındaki davranışı belirlenebilmektedir. Buna göre takım yolunun dönüşlerde keskin veya yuvarlak olması gibi değişiklikler yapılabilmektedir.

Takımın işleme giriş ve çıkışları ile bu noktaya gelirkenki davranışları takım yolları hesaplanmadan önce veya sonra isteğe bağlı olarak etkileşimli şekilde değiştirilebilir.



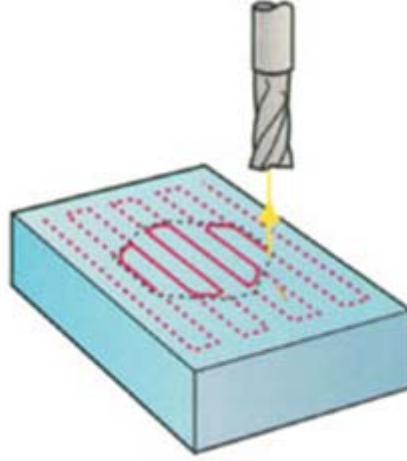
Şekil 4.26 İşlemeye giriş-çıkış ve linkler.

Oluşturulan takım yolundan, yeni bir hesaplama zamanı daha beklemeden, ayna imajının alınması, taşınması ve döndürülmesi ile yeni takım yolları oluşturma olanağı vardır. Ayna imajı alınmış takım yollarının kesme yönleri CAM programı tarafından otomatik olarak değiştirilebilmektedir.



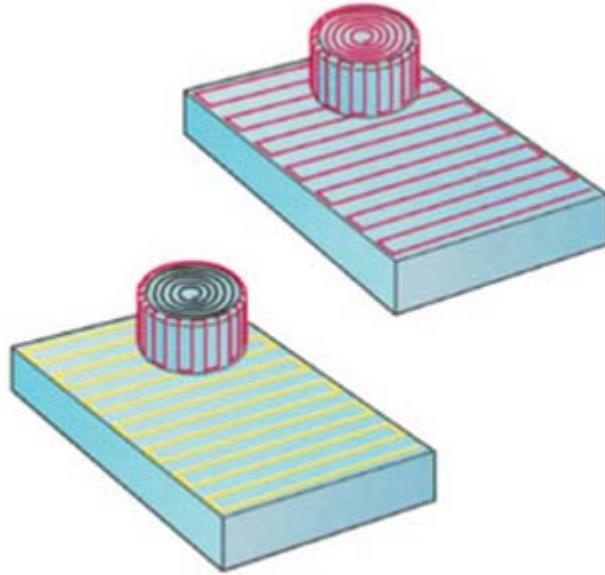
Şekil 4.27 Dönüştürme İşlemleri.

Takım yolu bölgeleri bir düzlem ile seçilen sınır ile limit edilebilmektedir. Her bölgede istenirse yeni takım yolları oluşmaktadır. Limitleme ile işleme zamanı azaltılmaktadır. CAM programlarının hızlı tekrar hesaplama özelliğinden dolayı takım yolları üzerinde değişiklik yapma işlemleri oldukça hızlıdır.



Şekil 4.28 Limitleme.

CAM programı ile limit edilmiş grup halindeki takım yolları birbirine bağlanıp tek bir kesme dosyası haline getirilebilmektedir. Farklı takım yolları ve değişik kesme takımları kullanan bir işleme stratejisinde CAM programı otomatik takım değişikliklerine izin vermektedir.



Şekil 4.29 Ekleme.

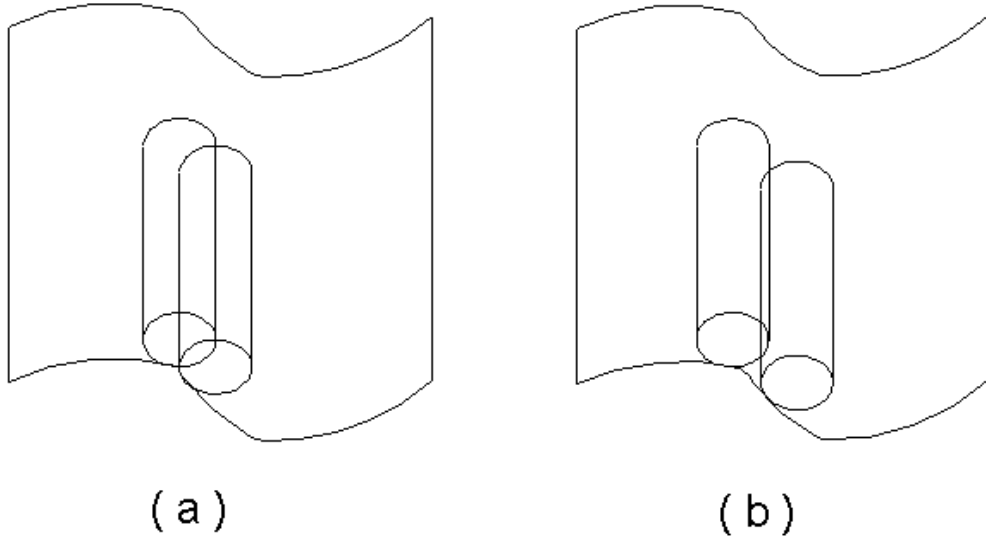
4.4 Hassasiyet Ve Verim

Takım yolu oluşturma metodunun sebep olduğu hatalar belirtilen toleranslarla sınırlandırılabilirdir ve de dalma ve yanal çarpma içermemelidir. Metot hataları dışında meydana gelebilecek CNC sisteminin neden olduğu hatalar ileri kontrol teknikleri ile önlenir.

Diğer taraftan, bilgisayar donanım ve yazılım teknolojisindeki sağlanan hızlı gelişmeler sayesinde hesaplama maliyetleri ucuzlamıştır, fakat hala parça işleme süresi uzun ve maliyetler yüksektir. Bu sebeple takım yolu oluşturma metodunda sağlanacak verim için, hesaplama zamanından ziyade en önemli parametre olan işleme süresi üzerinde durulmalıdır. Yukarıdaki kriterlere dayanarak mevcut takım yolu ile ilgili basit geliştirmeler önerilebilir.

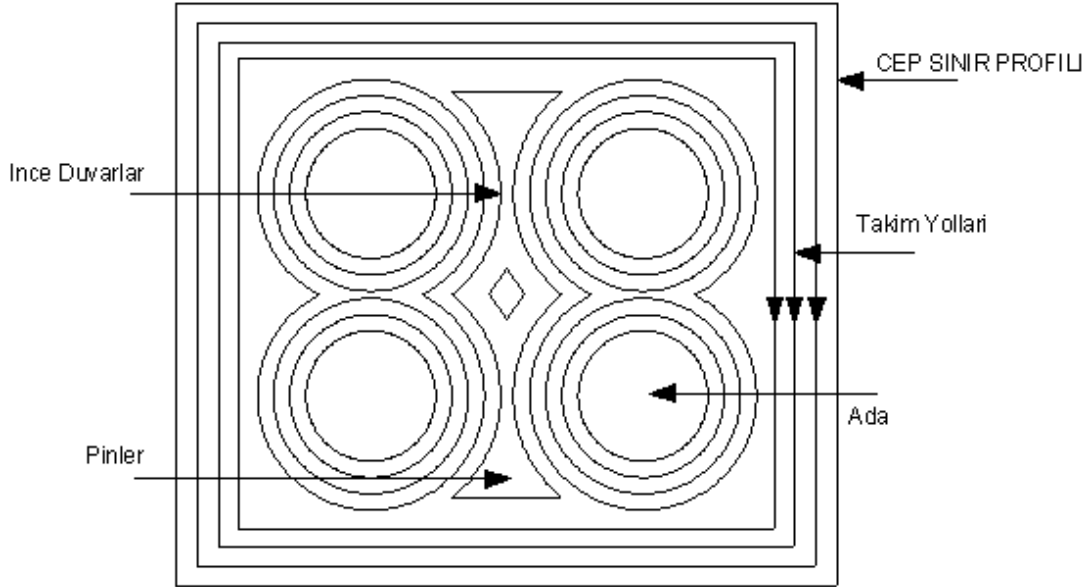
Mevcut yan artış miktarı hesaplamada, sadece küre-küre arakesit durumu düşünülmüştür (Şekil 4.30.a). Fakat şekil 4.30.b'de görüldüğü gibi küre – yan kenar arakesit hacminin meydana gelmesi de mümkündür. Ama şu ana kadar bu durumla ilgili herhangi bir çalışma sunulmamıştır.

İzo-planer işlemede, kesici konum yolu yada kesici temas yolu düzlemsel olmaktadır. Kesici temas yolu düzlemsel olduğunda kesici konum yolu genellikle düzlemsel olmamaktadır. Eğer kesici konum yolu düzlemsel değilse takım tezgahı dinamiği bu durumdan etkilenmektedir. Diğer taraftan, kesici konum yolu düzlemsel olursa, mevcut metotlar ileri ve yan artış miktarının tespit edilmesi için uygun bir değer bulmada başarısız olmaktadır.



Şekil 4.30 Takım arakesit durumları, (a) Küre-Küre, (b) Küre-Yan kenar kesişimi.

Cep işlemede, takım yolları profil sınırlarının ofset eğrileri olduğu için işlenen parça yüzeyi üzerinde ince duvarlar ve pinler kalmaktadır (Şekil 4.31). Burada şu önemlidir. Pinler ve ince duvarlar uygulamada bir problem meydana getirebilir ise takım yolu oluşturma esnasında bu problem nasıl ortadan kaldırılacağı ve bu durumun işleme verimini kötü yönde etkileyip etkilemediği önemlidir. Bunlara verilecek cevaplara göre uygun geliştirmeler yapılabilir.



Şekil 4.31 Cep işlemede ince çıkıntılar ve pinler.

Dalma önleme, takım yolu oluşturma işleminde büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. On - line dalma önleme metotlarının çoğunda küresel uçlu parmak freze kullanılarak 3 eksenli işleme üzerine yoğunlaşmıştır. On-line dalma önleme metotlarının hiç birinde düz uçlu parmak freze ile 5 eksenli işlemede dalma önleme konusuna değinilmemiştir. Düz uçlu parmak freze ile 5 eksenli işlemede dalma önleme konusu ile ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır.

Mevcut takım yolu oluşturma tekniklerinin çoğunluğu, doğrusal interpolatör ile donatılmış CNC takım tezgâhları için geliştirilmiştir. Fakat takım yolu oluşturma teknikleri, parametrik interpolatörler kullanılmak istendiğinde başarısız olunmaktadır. Yeni NC kapasitelerinin desteğiyle takım yolu oluşturma daha verimli ve hassas olabilir.

Kaba kesme işlemleri üzerine de yoğunlaşılmalıdır. İdealde, parça yüzeyi kaba kesme işleme ile, ince işleme yüzeyine her yerde aynı miktarda paso kalacak şekilde işlenmelidir. Fakat kaba kesme için geliştirilen mevcut takım yolu oluşturma metotları bu isteği karşılamamaktadır. Kaba kesme için bu doğrultuda yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmadan, otomatik tasarım / imalat sistemleri için daha hassas ve verimli takım yolları oluşturma metotlarına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişmeler, mevcut problemlerin çözümünde, takım yolu oluşturma metotları için yeni ipuçları vermektedir. Bilgisayar teknolojisindeki bu gelişmeler kullanılarak, mevcut problemleri ortadan kaldıran takım yolu oluşturma metotları geliştirilmelidir. Ayrıca, takım yolları işleme süresini etkileyen en büyük etken olduğu için, optimum takım yolu oluşturma metotları için de çalışmalar yapılmalıdır.

5. DALARAK KABA İŞLEME

5.1 Giriş

Dalarak kaba işleme, kaba işleme metodlarından biri olup özel kesici takımlar kullanarak derin kalıpların işlenmesinde kullanılır. Dalarak kaba işleme yönteminde takım yolları, matkaplama yöntemini andırır. Dalarak kaba işleme yönteminde, işleme merkezinin Z ekseninde derin boşluklar kaldırmak için matkap tipi takım yolu kullanılır. Derin boşlukların kaldırılmasında etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.



Şekil 5.1 Dalarak Kaba İşleme.

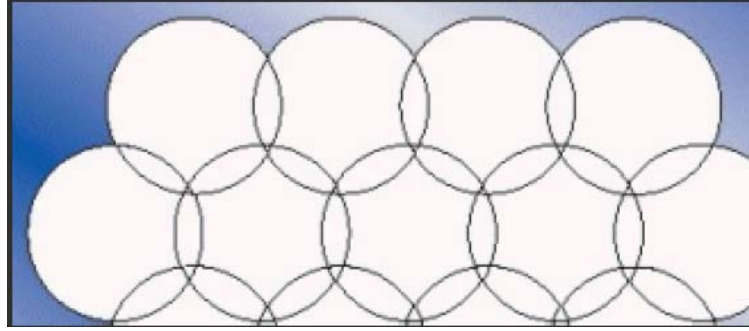
Dalarak kaba işleme, özellikle geniş kalıpların işlenmesindeki becerikliliği ile dikkat çeker. Takımda büyütülmüş çıkıntılar böyle iş parçalarının işlenmesinde ihtiyaç duyulan bir durumdur. Tipik bir Frezeleme işleminde bu büyütülmüş çıkıntılar titreşime yol açabilir. Fakat Z ekseninde doğrultusunda yapılan bu işleme yönteminde titreşim azaltılır, daha etkili bir kaba işleme prosesine kapı açar.

Dalarak kaba işleme bir frezeleme yöntemi olup çok çabuk bir şekilde iş parçasından büyük miktarda malzemenin koparılmasını sağlar. Aslında bu işleme tekniği temelde bir delme operasyonu olup, kesici takım iş parçasına sadece z ekseninde girer. Açmış olduğu delik kesici takımın yarıçapı kadardır.

Bunun yanında delmede olduğu gibi kesici takım uzantılara bağlı olmaksızın maksimum ilerlemesini ve hızını her boyda korur. Kalıpların kaba işlenmesinde dalarak kaba işleme yöntemi, konvansiyonel alın frezeleme yöntemine göre çok daha başarılı bir alternatif sunar.

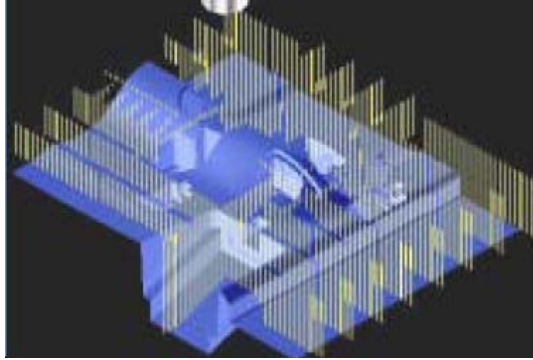
Temel prensip oldukça basittir. Birbirini takip eden pasalarda kesici takım iş parçasına z ekseninde girer, malzemeyi koparır ve daha sonra ise x-y ekseninde ötelenerek aynı hareketi tekrarlar.

Proses bindirme deliklerinin ve oyuklarının tamimiyle boşaltılmasına kadar devam eder. 1997 yılında SofTech firması mevcut CAM sistemleri için ilk dalarak kaba işleme yöntemiyle oluşturulan takım yollarının uygulamasını başlattı. Merkezi kesme değişkenleri dalarak kaba işlemede havşa başı açmak için parmak freze kullanıyordu.

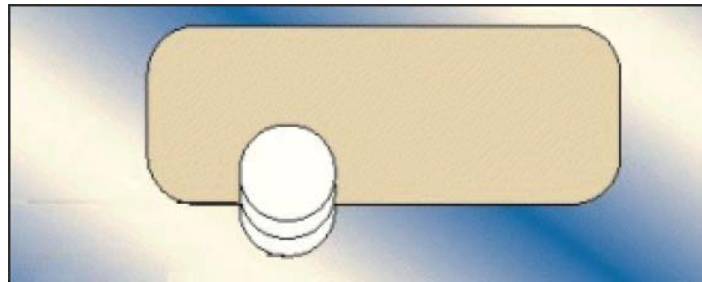


Şekil 5.2 Merkez kesmeli dalarak kaba işleme yöntemi için takım yolu örneği.

Dalarak kaba işleminin gelişiminde ikinci varyasyon olarak köşe tarzı 1998 yılında programa eklendi. Merkez kesmeden farklı olarak köşe kesmede her bir dalma arasında daha küçük adımlar kullanılmıştır. Bu işleme yöntemi, yüksek basınç soğutucularına ihtiyaç duymayan nispeten daha küçük güce sahip tezgâhlarda daha verimlidir.

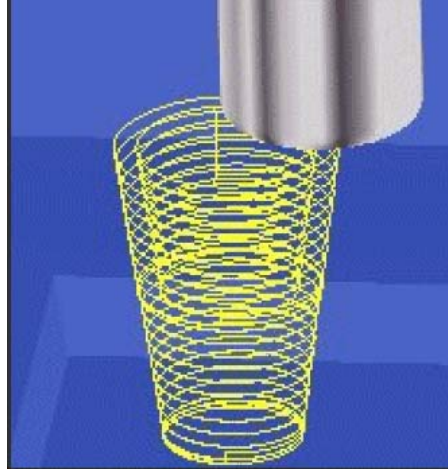


Şekil 5.3 Takım yollarının gösterimi.



Şekil 5.4 Köşe kesmeli dalarak kaba işleme yöntemi için takım yolu örneği.

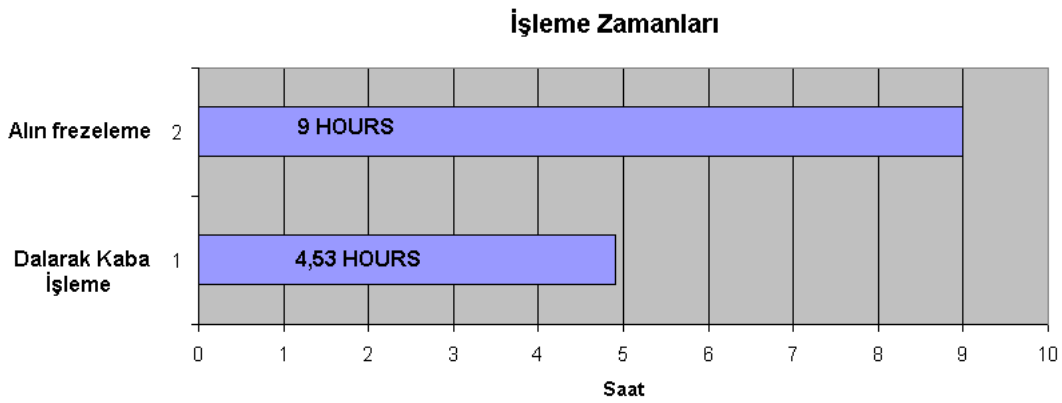
Önceden hazırlanmış delikler kavite bölgelerin merkezi kesme dalarak kaba işleme takımlarıyla yapılmadığı için gereklidir.



Şekil 5.5 Konik takım yolu örneği.

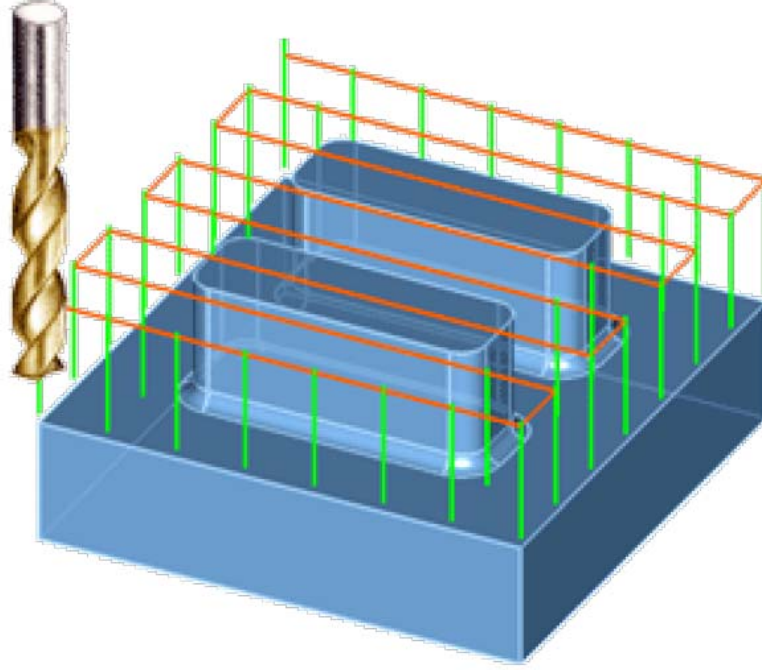
Giriş delikleri freze takımları kullanılarak oluşturulur ve koniksel bir form verilir. Bunun nedeni konik form sayesinde talaş tahliyesinin daha rahat yapılabilmesi içindir.

Dalarak kaba işleme yöntemi sayesinde üretilebilirlik artırılır, deneyimlerden elde edilen sonuçlar ışığında dalarak kaba işleme ile elde edilen boşaltma oranı konvansiyel frezeleme yöntemine göre en az % 50 daha fazladır.



Şekil 5.6 Konvansiyonel alın frezeleme ile dalarak kaba işleme zaman karşılaştırılması.

Üretilebilirlikteki bu avantaj daha derin işlemlerde dramatik olarak daha da artmaktadır. Dalarak kaba işlemede kesici takım kesme hızını her bir ölçü için koruyabilirken, konvansiyonel yöntemlerde ise kesici takımın meydana gelmesi olası sapmaları ve titreşimleri engelleyebilmek için daha düşük derinliklere ihtiyaç duyulur.



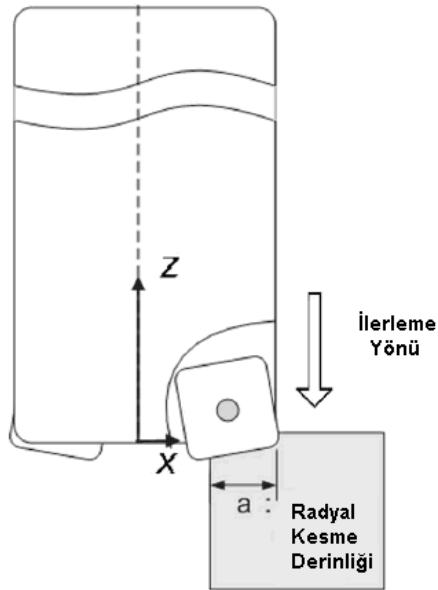
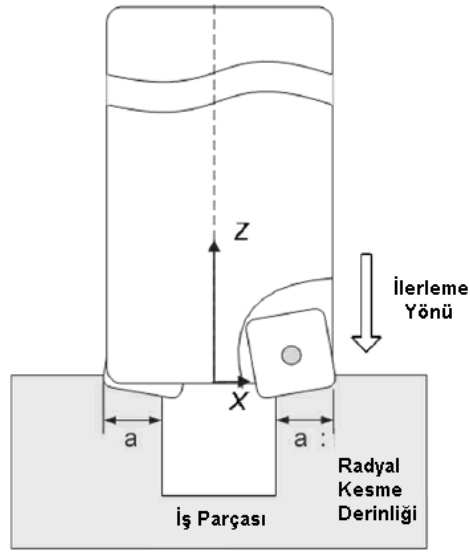
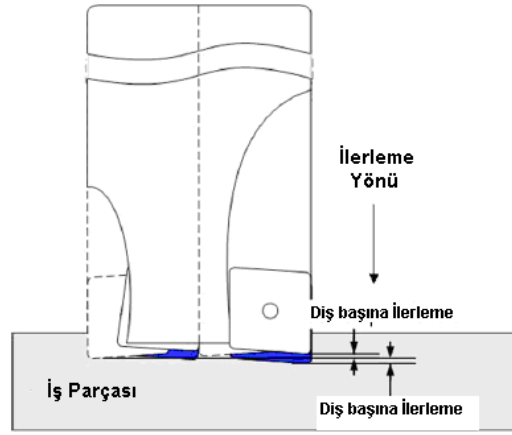
Şekil 5.7. Dalarak kaba işleme yönteminde takım yolları.

Dalarak kaba işleme yönteminin ne zaman kullanılması gerektiğini özetlemek gerekirse;

- Derin cepler ve derin delikler için kullanılması avantajlıdır.
- Titreşimin sorun olduğu yerlerde avantajlıdır.
- Daha düşük güçlü tezgahlarda avantajlıdır.
- Nispeten eski tezgahlarda daha avantajlıdır.

5.2 Literatüre Bakış

Dalarak kaba işleme yöntemine ait örnekler Şekil 6.8 de gösterilmiştir. Kesici takım katı bir bloğa delmede olduğu gibi tam daldırma ile daldırılabilir (Şekil 5.8.a) veya matkap başı gibi davranarak deliği genişletebilir (Şekil 5.8.b) veya bir duvarın dış yüzeyinden çok fazla malzeme kaldırabilir (Şekil 5.8.c). İlerleme eksenini en rijit mil eksenini yönüyle aynı olduğu sürece proses normal frezeleme işlemine göre daha az titreşimle gerçekleşir. Sonuç olarak, günümüzde dalarak kaba işleme yöntemi, kalıpta oyukların kaba işlenmesinde ve uzay endüstrisinde en çok kullanılan yöntem olmuştur. Proses planlayıcılar titreşimsiz işleme durumlarını tahmin etmek zorundadırlar ve mil tasarımcıları mil yatak ve gövdesinin boyutlandırılmasında radyal yük büyüklerini göz önüne almalıdırlar.



Şekil 5.8 Dalarak kaba işleme yöntemine ait örnekler (Ko, 2007, Dynamics and Stability of Plunge Milling Operations)

Dalarak kaba işleme yöntemi için çok az sayıda çalışma yapılmış ve dolayısıyla çok az sayıda kaynak bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu kesici takım geometrisi ile ilgilidir. Wakaoka ve arkadaşları (2002) takım geometrisi ve hareketlerine odaklanarak dikey duvarlar oluşturmak için aralıklı dalarak kaba frezeleme üzerinde çalışmışlardır. Li ve arkadaşları (2004) ise sistemin yapısal dinamiklerini göz ardı ederek tahmini kesme kuvvetleri ile karmaşık pahlı modeller oluşturmak için bir dalarak kaba işleme frezeleme metodu sunmuşlardır. Diğer tüm kaynaklar ise ticari firmalara ait kataloglarda olup bunlar sadece dalarak kaba frezeleme yönteminde kullanılan kesici takımlara ait özellikleri ve boyutları göstermektedir.

Dalarak kaba frezeleme yönteminin mekaniği ve dinamiğine ait çok sayıda önemli çalışma yapılmıştır. Tlusty ve İsmail (1981) sistemin yapısal dinamiklerini de ele alarak helisel parmak frezeleme için zaman bölgesi simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sutherland (1986) ile Devor ve arkadaşları (1983) kesici takıma ait aşınmaları, eksantrisite ve statik sapmaları tahmin edebilen helisel ve alın frezeleme modelleri sunmuşlardır.

Montgomery ve Altıntaş (1991) helisel parmak frezelemede rijit gövde kinematiklerinin yanında yapısal titreşimleri birleştirmiştir. Küresel parmak frezenin, konikleştirilmiş helisel parmak frezenin mekaniği ve tırtıllı kesici takımlar prosesin zaman bölgesi modellerinde araştırmacılar tarafından kapsamlı olarak kullanılmıştır. Atabey ve arkadaşları (2002) ise ayrıca yapısal dinamikleri ihmal ederek matkap başlarının mekaniği üzerinde çalışmışlardır. Bununla birlikte, birleştirilmiş talaş oluşturma kinematiki ve dalarak kaba frezeleme yöntemine ait zaman ve sıklık bölgesi mekaniği ve dinamiği daha önce incelenmemiştir. Sıradan frezeleme işleminin aksine, dalarak kaba işleme yönteminde kesici takımlar malzemeye dikey hareket eder ve talaş oluşumu en alt kesici kenarda gerçekleşir.

Kesici takım geometrisine bağlı olarak, kesici takımın yanal, burulumsal ve eksenel modelleri için titreşimler talaş kalınlığını etkileyebilir. İki yanal, eksenel ve burulumsal titreşimlerin ele alınarak kesici takımın, rijit gövde hareketi ve titreşimlerinin kombinasyonu altında talaş yükü tahmini zaman ve sıklık bölgesi açısından bu çalışmada incelenmiştir.

Daha önce titreşim üzerine yapılmış araştırmaların incelenmesi Altıntaş ve Weck (2004) tarafından sunulmuştur. Sıklık bölgesinde, ortogonal kesme gibi sürekli, tek boyutlu işleme proseslerinin titreşim kararlılığı ilk olarak Tlusty ve Polacek (1958) tarafından analiz edilmiştir. Minis ve Yanushevksy (1993) frezelemeyi iki boyutlu özdeğer bir problem olarak ele almış ve Floquet teorisini uygulayarak iterasyon ile kararlılığı sağlamıştır. Onlar ortalama

yönlü katsayılar kullanmışlar ve proses dinamiklerinin zamanla değişmediğini varsaymışlardır. Budak ve Altıntaş (1998) ortalama yönlü faktörler kullanıldığında ihtiyaç duyulan herhangi bir iterasyona gerek kalmadan kararlılık loblarını tahmin edilmesini sağlayan bir doğru kararlılık kuralı geliştirmişlerdir. Sonrasında daha yüksek harmonik şartları ilave ederek zamanın yönlü faktörlere göre değiştiğini ele alan bir teori haline getirmişlerdir. Davies ve arkadaşarı (2000) zaman bölgesinde periyodik işleme proseslerinde yönsel faktörlerin zamana göre değiştiği lineer ama analitik çözümler sunmuşlardır. Analitik zaman bölgesi çözümünün avantajı pahalı sayısal hesaplamalarından kaçınmak ve sayısal çözülemeye göre doğrusalsızlıkları ihmal etmektir.

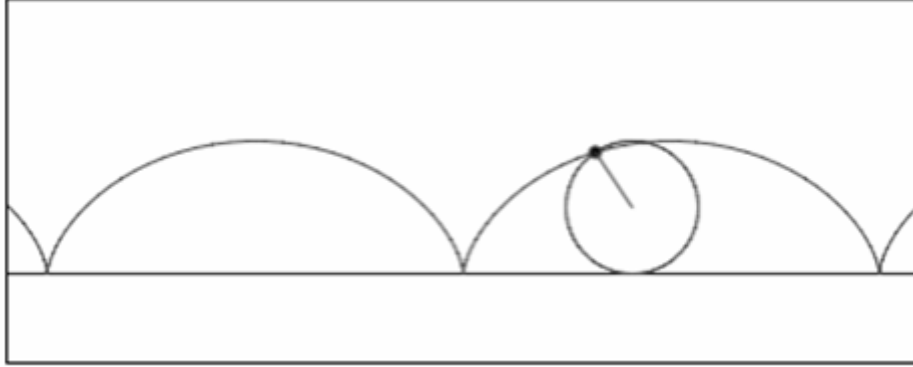
Sayısal çözümler metal işleme kanununun ilk ilkelerine dayandırılmıştır ve sistemin fiziğini tanımlayan matematiksel modelin doğrulanmasını simüle etmek için kullanılır. Rijit gövde hareketi ve titreşimler, kesici uç boyunca kalınlığı değişen talaş kalınlığının tahmini için modellenmiştir. Takımda ve iş parçasındaki kesme kuvvetleri talaş kalınlığının dağılımına göre değerlendirilir. Kesme kuvveti katsayısının boyut etkisi kesici ucun geometrisine göre değişir ve kesici takım ile iş parçası arasındaki temas kaybı proses parametrelerinden ayrılmalara ve doğrusalsızlıklar olarak değerlendirilebilir. Doğrusalsızlık derecesi ve prosesin kararlılığını sağlayan gecikmiş diferansiyel eşitliklere ait parametrelerdeki geometrik değişkenler sayısal simülasyonlar sırasında ayrıca ölçülmüştür. Doğrusal frekans için proses doğrusallaştırmanın sınırı veya zaman bazlı titreşim kararlılığı çözümü, tüm işleme prosesinin sayısal modellenmesi esnasında değerlendirilmiştir. Dahası, yataklar, mil gövdesi, kesici takım ve tutucu üzerindeki kesme kuvvetlerinin tahmini, tezgâh elemanlarının aşırı yüklenmesinin önlenmesinde önem arz eder. Dolayısıyla, hem proses planlayıcı hem de mil tasarımcısı, zaman bölgesine, iyileştirilmiş tasarım için prosesin sayısal simülasyonuna ve verimli işlemeye ihtiyaç duyar.

Bu çalışmalarda, hem zaman hem de sıklık bölgeleri için genel dalarak kaba frezeleme işlemlerinin titreşim kararlılığını, mekanik ve dinamikleri incelenmiştir. Sonrasında kesme kuvvetlerinin ve tork tahminlerinin modellendiği dalarak kaba frezelemenin mekanikleri sunulmuştur. Ayrıca titreşim altında talaş oluşturma kinematiki modellenmiştir. Dalarak kaba frezeleme prosesinin titreşim kararlılığı için sıklık bölgesinde modellenmiştir. Dinamik kuvvetlerin zaman bölgesi simülasyonu ve dalarak kaba frezeleme prosesinin sıklık bölgesi kararlılığı çözümü ile ilgili deneylerle karşılaştırması yapılmıştır.

6. TROKOİDAL İŞLEME

6.1 Trokoid Nedir

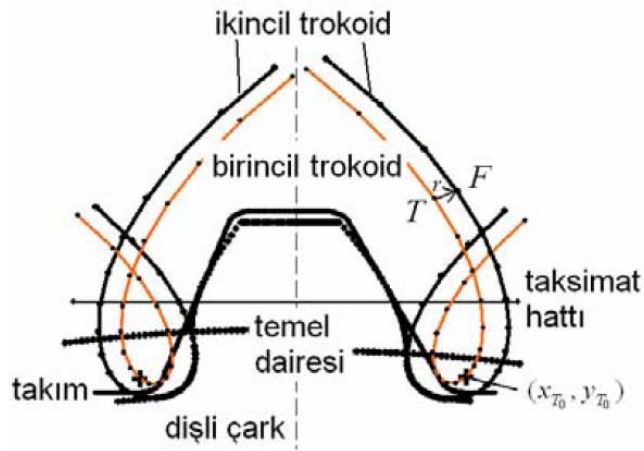
Sabit bir daire üzerinde yuvarlanan diğer bir dairenin herhangi bir (p) noktasının çizdiği yörüngeye trokoid denir. Yuvarlanan dairenin, sabit dairenin dışında veya içinde oluşuna göre meydana gelen trokoide epi-trokoid veya hipo-trokoid adı verilir.



Şekil 6.1 Trokoid oluşumu.

6.2 Trokoid Eğrileri

Kesici takımın yuvarlatılmış ucunun merkezi yuvarlanma prosesi neticesinde trokoidal bir yörüngeyi takip eder. Bu eğri birincil trokoid olarak adlandırılır. Takımın ucu ise birincil trokoide eş mesafeli yörüngeyi takip ederek diş kökünü şekillendirir. Bu eğri ikincil trokoid olarak adlandırılır. Eğer takım sivri uçlu ise tek bir trokoid eğrisi söz konusudur.



Şekil 6.2 Birincil ve ikincil trokoid.

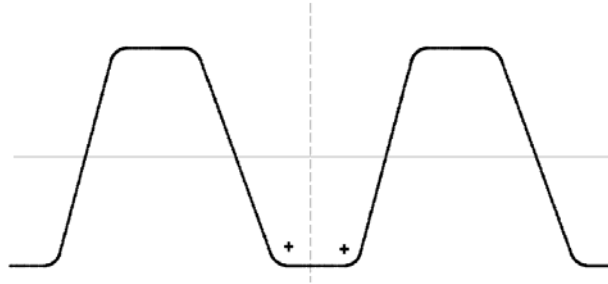
Şekil 6.2’de trokoid eğrileri gösterilmiştir. Yuvarlanma neticesinde takım ucu eğrilik merkezinin koordinatlarına (x_{T0}, y_{T0}) , yuvarlanma yarıçapına r_{p1} ve yuvarlanma parametresine ϕ_1 bağlı olarak birincil trokoide ait T noktasının koordinatları, verilen matematik modele uygun olarak, aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{T0} \cos \phi_1 - y_{T0} \sin \phi_1 + r_{p1} (\phi_1 \sin \phi_1 + \cos \phi_1) \\ x_{T0} \sin \phi_1 + y_{T0} \cos \phi_1 + r_{p1} (-\phi_1 \sin \phi_1 + \sin \phi_1) \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

İkincil trokoide ait bir F noktasının koordinatları da aşağıdaki ifadelerle hesaplanır.

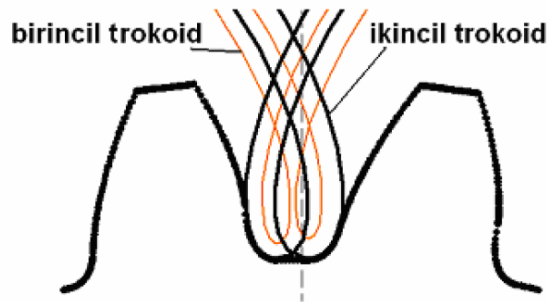
$$\begin{bmatrix} x_F \\ y_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r \sin(\gamma - \phi_1) \\ r \cos(\gamma - \phi_1) \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Burada $\gamma = \arctan(x_{T0}/(y_{T0}-r_{p1}\phi_1))$ ve r takım ucunun yuvarlatma yarıçapıdır. Birincil ve ikincil trokoid eğrileri takım ucu yuvarlatma yarıçapı mesafeli iki eş mesafeli eğridir. Kesme simülasyonunda yuvarlanma parametresi ϕ_1 olarak tayin edilmektedir.

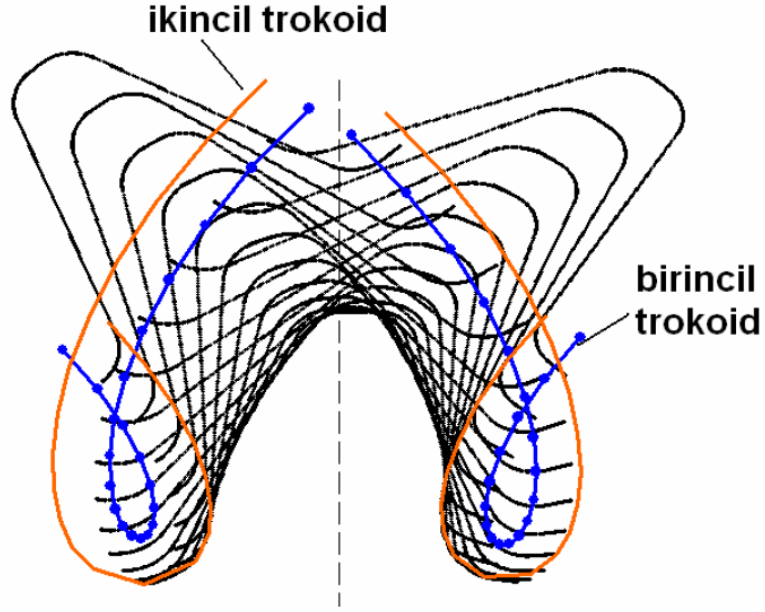


Şekil 6.3 Asimetrik dişli kremayer takım.

Şekil 6.3 de asimetrik dişli kremayer takım geometrisi gösterilmiştir. Şekil 6.4’de kompozit resimde asimetrik düz dişli geometrisi ve trokoid eğrileri gösterilmiştir. İkincil trokoid diş dibini şekillendirmektedir.

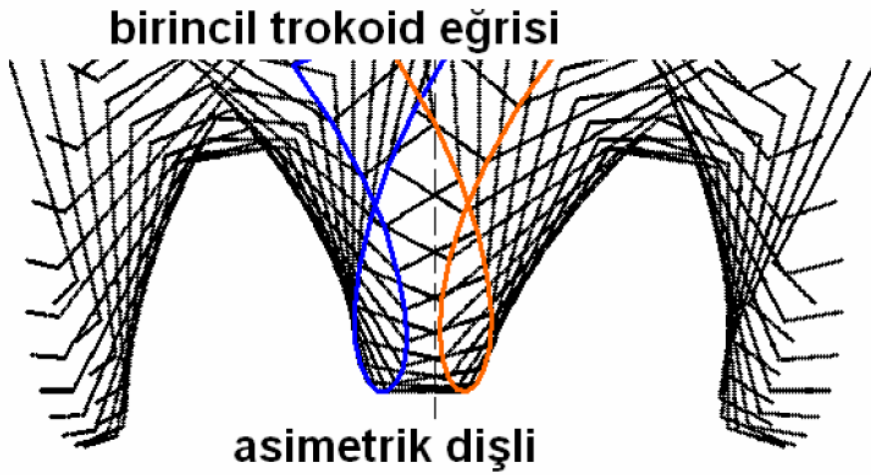


Şekil 6.4 Asimetrik diş geometrisi ve trokoid eğrileri.



Şekil 6.5 Asimetrik takım ile imalat ve takım ucu yörüngeleri.

Şekil 6.5. de asimetrik takım ile imalat simüle edilmiş, takımın yuvarlatılmış ucu ve uç merkezinin trokoidal yörüngeleri gösterilmiştir. Sivri uçlu asimetrik takımın diş boşluğunu şekillendirmesi ve takım ucunun yörüngesi Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Sivri uçlu asimetrik takım ile imalat ve takım ucu yörüngesi.

6.3 Trokoidal Frezeleme

Frezeleme; günümüzde birçok endüstri kolunda mekanik parçaların imalatında yaygın olarak kullanılan bir prosesdir. Bu proses çok yönlü olup düz yüzeyler için alın frezeleme yada serbest şekilli oyuk yüzeylerin kompleks işlenmeleri gibi birçok uygulama alanına sahiptir.

Frezeleme prosesinde işlenecek parça, takım ve iş parçası geometrisi ve de onların izafi hareketlerine bağlıdır. Parmak frezeleme özel ve basit bir yöntem olup oyuk frezeleme, kenar frezeleme ve alın frezeleme işlemleri için helisel parmak freze kullanır. Prosesi kontrol etmek yada optimize etmek için yeterli kesme kuvvetlerinin sayısal tahmininin yapılması mutlak ölçüde gereklidir. Frezeleme prosesinin modellenmesi uzun yıllardan beri araştırmalara konu olmuştur.

Frezeleme işleminin aralıklı geometrisi ve son ürüne ait kompleks geometri takım yolları boyunca çeşitli kuvvet profillerine neden olur. Birçok araştırmacı farklı takım yolu algoritmaları ile frezeleme işleminin optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır.

Dairesel frezeleme metodunda kesici takım dairesel bir yol izleyerek iş parçasının hafif temas koşullarında işlenmesi sağlanır. Kesici takım ve iş parçasının bu hafif teması nedeniyle kesme kuvvetleri sınırlandırılmıştır. Bu nedenle ilerleme hızı işleme verimini artırabilmek için ayarlanabilir.

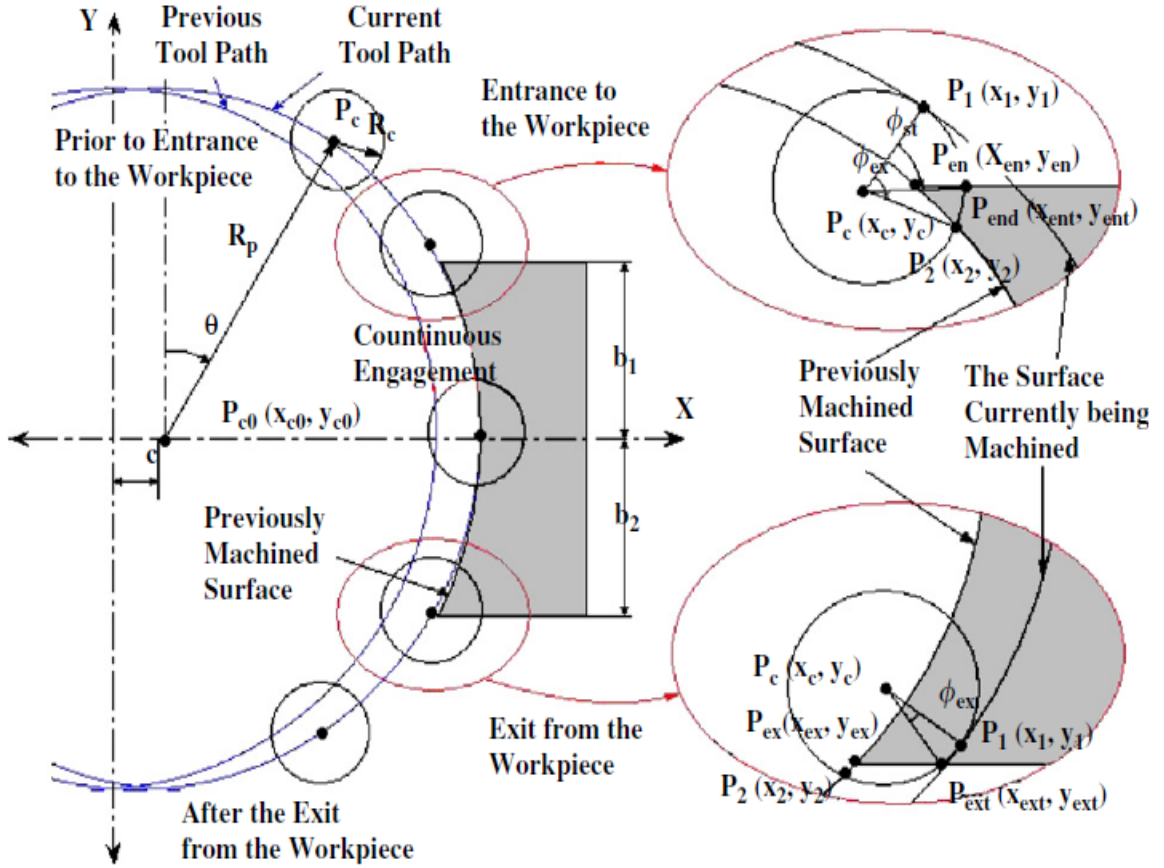
Elber ve arkadaşları (2004), aralıksız yaylardan oluşan aralıksız takım yolları oluşturan MATHMS algoritmasını geliştirmişlerdir. Son zamanlarda CAM uygulamalarında zigzag, aksel ve dairesele frezelemeye alternatif olarak, özellikle zor frezeleme işlemlerinde trokoidal frezeleme yöntemi dahil edilmiştir. Bununla birlikte trokoidal frezeleme metodunun mekaniğinin modellenmesi herhangi bir çalışmaya konu olmamıştır.

Serbest biçimli şekiller için aerodinamik, ergonomik ve bütünüyle estetik özelliklere gereksinim duyulduğundan, kompleks şekiller kesici takım pozisyon noktalarının lineer bölünmesinden daha iyi bir takım yolu doğrulanmasına ihtiyaç duyar.

Doğrusal ve dairesele interpolasyon algoritmaları konvansiyonel CNC tezgâhlarında kullanılmakta fakat serbest biçimli geometrilerin işlenmesinde arzu edilen hassasiyette ulaşmak için yeterince uygun olmadığından kullanılmamaktadır. Bu nedenle, NURBS eğrili takım yollarının parametrik gösterimi geliştirilmiştir.

Oktur ve Lazoğlu (2006), trokoidal frezeleme işleminde kesme kuvvetlerinin tahmini için bir analitik model geliştirilmiştir. Geliştirilen analitik model herhangi bir oyuk ya da yuva içermeyen basit işlenecek yüzeylerle sınırlandırılmıştır.

Bu şekilde, bu yeni nümerik algoritma istenen herhangi bir yüzey için temas alanının tahmin edilmesine olanak sağlayacaktır. Oktur ve Lazoğlu (2006) tarafından sunulan diğer bir yaklaşımda ikili trokoidal frezelemedir.



Şekil 6.7 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 (Otkur vd. 2006)

Anolitik temas modeli ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada takıma ait temas 5 farklı bölgede tanımlanmıştır. Tüm bilinmesi gereken noktalar temasa ait hesaplamalar sonucunda elde edilmiş olur. Bunlar,

- **İş parçası ile kesici takım arasında temas başlamadan önce ($y_c - R_c \geq b_1$, $y_c + R_c \geq b_1$ ve $x_{ent} \leq x_{en}$):**

Takımın izlediği trokoidal yol iş parçasına temas halinde değil, bu nedenle takım ile iş parçası arasında temasın başladığı ve tamamlandığı açı $\phi_{st}=0$, $\phi_{ex}=0$ olarak tanımlanır.

- **Temas başladığında ($y_c + R_c \geq b_1$ ve $x_{ent} > x_{en}$):**

Kesici takım iş parçası ile temasa başlar. Şekil 6.7 de gösterildiği gibi temasın başladığı açı ($P_1P_cP_{ent}$) ve temasın tamamlandığı açı ($P_1P_cP_2$).

Doğru parçaları boyları $|P_1P_c|$, $|P_{ent}P_c|$, $|P_2P_c|$, $|P_1P_{ent}|$ ve $|P_1P_2|$ aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$L_{1c} = L_{entc} = L_{2c} = R_c, \quad L_{1ent} = \sqrt{(x_1 - x_{ent})^2 + (y_1 - y_{ent})^2}, \quad L_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (6.3)$$

Temasın başladığı ve tamamlandığı açılar ise;

$$\phi_{st} = \arccos\left(\frac{L_{entc}^2 + L_{1c}^2 - L_{1ent}^2}{2L_{1c}L_{entc}}\right), \quad \phi_{ex} = \arccos\left(\frac{L_{1c}^2 + L_{2c}^2 - L_{12}^2}{2L_{1c}L_{2c}}\right), \quad (6.4)$$

- **Temasın devam ettiği bölge ($y_1 \leq b_1$ ve $y_2 \geq -b_2$):**

Bu bölgede kesici takım 0 başlangıç temas açısıyla sürekli işleme yapar. Temasın tamamlandığı açı ise bir önceki bölgedekine benzerdir.

$$\phi_{st} = 0, \quad \phi_{ex} = \arccos\left(\frac{L_{1c}^2 + L_{2c}^2 - L_{12}^2}{2L_{1c}L_{2c}}\right) \quad (6.5)$$

- **İş Parçasına temasın tamamlandığı bölge ($y_2 \leq -b_2$ ve $y_1 \geq b_1$):**

İş parçası ile Kesici takımın temasının tam sonlandığı bölgedir ve kesici takım iş parçasından yavaşça ayrılır. Önceki bölgede olduğu gibi giriş açısı 0 olup, çıkış açısı ($P_1P_cP_{ext}$) kesici takım iş parçasından tamamıyla ayrıldığından 0'a yaklaşmaktadır. Doğru parçalarının boyları $|P_{ext}P_c|$ ve $|P_1P_{ext}|$ aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanır;

$$L_{extc} = \sqrt{(x_{ext} - x_c)^2 + (y_{ext} - y_c)^2}, \quad L_{1ext} = \sqrt{(x_1 - x_{ext})^2 + (y_1 - y_{ext})^2}, \quad (6.6)$$

$$\phi_{ex} = \arccos\left(\frac{L_{extc}^2 + L_{1c}^2 - L_{1ext}^2}{2L_{1c}L_{extc}}\right) \quad (6.7)$$

- **Takım iş parçasından ayrıldıktan sonra ($y_1 \leq -b_2$):**

Kesici takım iş parçasından henüz ayrılmıştır, bu nedenle giriş ve çıkış açıları 0 olarak tanımlanmıştır ta ki bir sonraki temasa kadar.

$$\phi_{st} = 0, \quad \phi_{ex} = 0 \quad (6.8)$$

Otkur ve Lazoğlu (2006) temasın tahmini için de bir algoritma geliştirmişlerdir ve verilen herhangi bir yüzey için teması tahmin edebilecek yeni bir algoritma sunmuşlardır. Öncesinde sunmuş oldukları analitik model ise sadece boşluk ve/veya çıkıntıları olmayan temel yüzeyler için teması tahmin edebilir. Bununla birlikte endüstride işlenen birçok parça kompleks bir geometriye sahiptir. Bu nedenle kesici parçası ile iş parçası arasındaki teması ve kesme kuvvetlerinin değerleri proseslerde otomasyon ve optimizasyon için çok büyük bir önem

taşımaktadır. Geliştirmiş oldukları bu algoritma verilebilecek her bir düz yüzey için temasın tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Yapmış oldukları algoritma için, Unigraphics programında yaratılan bir yüzey kullanılmıştır. İstenen yüzeyin STL (Standard Triangulation Language) çıktısı verilmiş ve nokta kümelerinin gösteriminde kaynak olarak kullanılmıştır.

Aynı zamanda, Unigraphics programı ile oluşturulan NURBS esaslı G kodları kesici takım pozisyon noktalarının tam olarak gösteriminde kullanılmıştır. Bununla birlikte kesici takım pozisyon noktaları dosyası, teması tanımlamak için yeterince etkili olmayacaktır.

$P_1(x_1, y_1)$ noktası eğrilmenin (R_p) merkezi ve yuvarlaklığını kullanarak elde edilmiştir. Şekil 6.7 de gösterilen dönüşün merkezi $P_{c0}(x_{c0}, y_{c0})$ aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$x_1 = x_{c0} + (R_p + R_c) \cos \theta, \quad y_1 = y_{c0} + (R_p + R_c) \sin \theta, \quad x_c = f(t), \quad y_c = g(t), \quad (6.9)$$

$$R_p = \frac{(f'^2 + g'^2)^{3/2}}{|f'g'' - f''g'|} \quad x_{c0} = f - \frac{(f'^2 + g'^2)g'}{f'g'' - f''g'} \quad y_{c0} = g + \frac{(f'^2 + g'^2)f'}{f'g'' - f''g'} \quad (6.10)$$

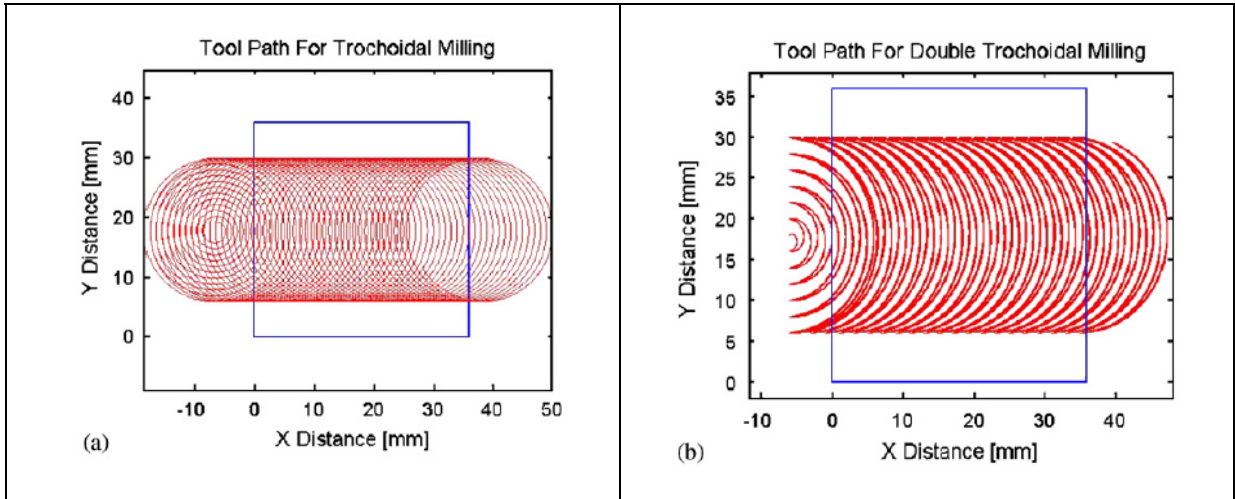
Burada $f' = x_c' = dx_c / dt$, $f'' = x_c'' = d^2 x_c / dt^2$, $g' = y_c' = dy_c / dt$, $g'' = y_c'' = d^2 y_c / dt^2$ ve R_p eğrilik yarıçapıdır. Her bir kesici takım pozisyonu arasındaki zaman farklılığı, talaş kaldırma hızı ile alınan yolun bölünmesi elde edilmiştir.

Daha sonra prosedürü tanımlayan temas kullanıma koyulur. Prosedür oldukça basit gibi görünse de yüzey üzerindeki her çeşit süreksizliklerle baş edebilecek ölçüde uygunluk gösterir. Algoritma aşağıdaki mantığı kullanır:

- NURBS interpolatörünün kullanılmasıyla elde edilen her bir kesici takım pozisyon noktaları için, algoritma takım çevresi ile kuşatılmış yüzey içinde noktalar tanımlar.
- Kesici takım ile iş parçası arasındaki temas bu noktalar kullanılarak hesaplanır. P1 noktasına en yakın nokta (dönüş yarıçapı merkezinden en uzak nokta) giriş açısını hesaplamada kullanılır. P1 noktasından en uzak nokta ise temasın tamamlandığı çıkış açısının hesaplanmasında kullanılır.
- Kesici takım pozisyon noktası için temasın hesaplanmasından sonra, kesici takım tarafından kuşatılan noktalar silinir ve aynı prosedür bir sonraki kesici takım pozisyon noktası için uygulamaya koyulur.

Otkur ve Lazoğlu (2006), yapmış oldukları diğer bir çalışmada çift trokoidal frezeleme algoritması geliştirmişlerdir. Buna göre, kesici takım, takım yolu boyunca trokoidal bir yol izlerken, kesici takım dönüş yarıçapının arka yarısı kesme işlemini gerçekleştirmez. Bu nedenle, dönüş yarıçapının aşağıya doğru kısmının tamamlanmasından sonra kesici takımın yukarıya doğru dönüş yarıçapı hareketini tamamladığı yerde, üretim sürecinin yarısı bir çift trokoidal frezeleme mekanizması kullanılarak modifiye edilir.

Frezeleme yönü aşağıya doğru ve yukarı doğru hareketlerde değiştiği için maksimum kuvvet büyüklüğünde küçük bir artış olacaktır. Diğer taraftan alın frezeleme işlemi boyunca üretim süreci bu yaklaşımla yarıya indirilmiş olur. Çift trokoidal frezeleme işleme zamanını azaltsa da her bir yolun sonunda keskin yön değişimi uygulamada sorun yaratabilir. (Şekil 6.8)



Şekil 6.8 Trokoidal (a) ve Çift Trokoidal (b) işleme için takım yolları (Otkur vd., 2006)

Otkur ve Lazoğlu (2006); ayrıca bir kuvvet modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri kuvvet tahmin etme algoritması, kalibrasyon, temas ve kuvvet modelinden oluşmaktadır. Kalibrasyon prosesi için frezelemede kesme değişmezlerinin mekaniksel tanımlanmaları üzerinde durulmuştur. Temas modeli bir önceki kısımda açıklanmıştır. Kuvvet modeli için kesicinin açısal pozisyonu θ olarak tanımlanmıştır. İlerleme hızı ise f_t (mm/dönüş-diş) olarak tanımlanmıştır. Diferansiyel kesme kuvvetleri eşitlik 6.24 de olduğu gibi Teğetsel, radyal ve eksenel yönlerde tanımlanabilir. Teğetsel, radyal ve eksenel yönlerdeki diferansiyel kesme kuvvetleri eşitlik 6.25 de olduğu gibi X-Y-Z koordinat sistemine dönüştürülür ve daha sonra temas alanı modeline entegre edilerek (eşitlik 6.11) frezeleme algoritmasında oluşturulan toplam kesme kuvvetleri:

$$F_x = \sum_{\phi_{st}}^{\phi_{ex}} dF_x, \quad F_y = \sum_{\phi_{st}}^{\phi_{ex}} dF_y, \quad F_z = \sum_{\phi_{st}}^{\phi_{ex}} dF_z, \quad (6.11)$$

Takım yolu modeli ve kesimin maksimum radyal derinliğinin hesabı ayrıca Otkur ve Lazoğlunun (2006) çalışmalarına konu olmuştur.

Trokoidal stratejilerde ana hedef yukarı/aşağı kesimlerden ve tam daldırma konfigürasyonlarından kaçınabilen, bunun yanında kesmenin maksimum radyal derinliğinin korunduğu bir takım yolu oluşturmaktır. Bu sabitlerin istenilen şekilde sonuç verebilmesi temel olarak iki ayrı yöntem vardır. Bunlardan birincisi işlenen parçanın gerçek zamanlı modeline bağlıdır.

Bu çeşit bir yaklaşımın nedeni, işleme süresi boyunca iş parçasının tam halini oluşturabilmektir. Fakat bu meshing'in boyutuna göre tamlığı açısından uygun olmayabilir. İkinci metot ise kesme sabitlerinin maksimum radyal derinliğine göre trokoidal adımların tahmin edilmesidir. Tüm takım yolu için hesaplama bir kez yapıldığında hesaplama zamanı azaltılmış olur. Verilen set için ($R_{tool}-R_{trocho}-S_{tr}$) maksimum radyal kesme derinliğini tahmin eden geometrik bir model önermek gereklidir.

Burada R_{tool} kesici takım yarıçapı, R_{trocho} trokoidal yarıçap ve S_{tr} trokoidal adım yada ilerlemedir. Araştırmacılar bize ikinci yaklaşımı sunmuşlardır.

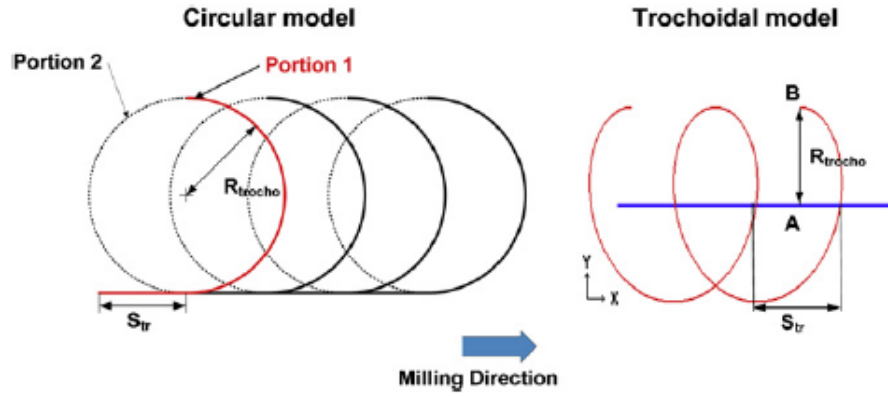
Hedefler önce seçili takım yolu parametrelerinin tam daldırma frezelemesinden kaçınıyor olması ve sonra frezeleme konfigürasyonunu daire ile çevrelemek olacaktır. Kesmenin maksimum radyal derinliği gibi proses sabitleri için takım yolu iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Maksimum radyal kesme derinliğinin hesabı trokoidal takım yolunun dairesel ve trokoidal iki modeline dayandırılabilir (Şekil 6.9).

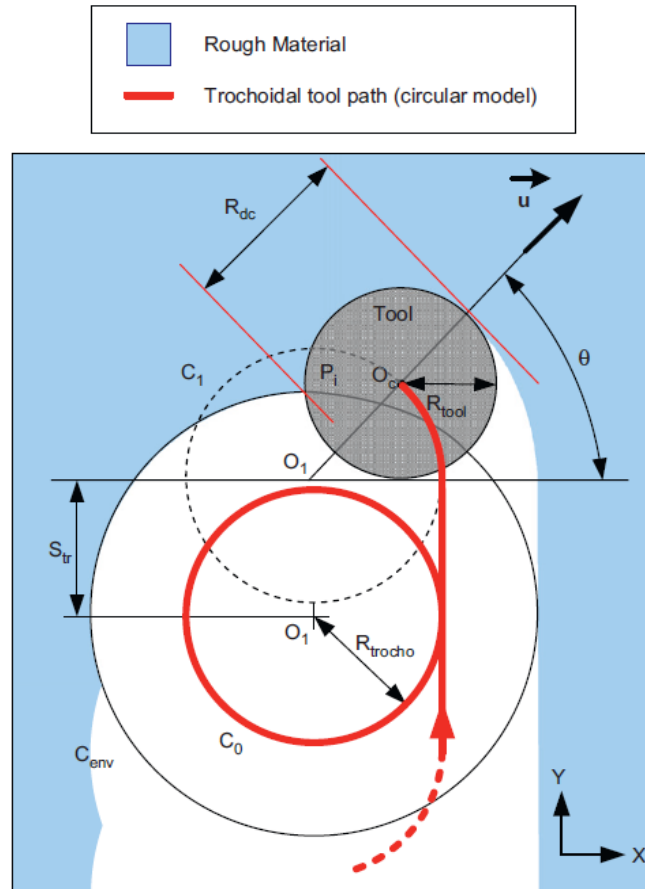
Dairesel model, doğrusal bir bağlantı ile iki dairenin bağlanmasından oluşur. Şimdiye kadar CAM programcılarının büyük çoğunluğu bu modeli kullanmışlardır. Çünkü bu modelin çizgi ve dairelerden oluşan takım yollarının kullanıldığı CNC sistemlerinde uygulanabilirliği oldukça kolaydır.

Trokoidal model matematiksel tanımı gereği trokoidin şekline direk olarak ilişkilidir. Programlanan takım yolu sonuç olarak teğetlik ve eğrilik açısından süreklilik gösterse de, verimli bir uygulama için daha ileri program fonksiyonlarına ihtiyaç duyar.

Aynı şekilde, bu model çok daha yüksek doğruluk derecesi sunsa da daha uzun ve kompleks bir hesaplama gerektirir. Önce her bir takım yolu modeli için komple bir analiz gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, maksimum radyal kesme derinliği kriterine göre dairesel ve trokoidal modellere ait bir karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 6.9 Trokoidal takım yollarını için başvurulan dairesel ve trokoidal modeller (Otkur vd., 2006).



Şekil 6.10 Radyal kesme derinliği hesaplama modeli ve parametrizasyonu (Otkur vd., 2006).

6.3.1 Dairesel Model

Otkur ve Lazoğlu (2006) yapmış oldukları diğer bir çalışmada dairesel bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, takım yolu birbirini takip eden iki dairenin bir doğrusal bölüt ile bağlanması ile modellenmiştir (Şekil 6.10). Bu trokoidal takım yolu Otkur ve Lazoğlu tarafından daha önce önerilmiştir, fakat radyal kesme kontrol derinliği konusuna değinilmemiştir. C_0 bir önceki dönüş olup merkez koordinatları $O_0(0,0)$ ve yarıçapı R_{trocho} . Zarf şekli bu daire boyunca takımın hareketi ile ortaya çıkmıştır. Bu daire C_{env} , merkezi yine O_0 ve $R_{env}=R_{trocho}+R_{tool}$. Güncel dönüş ise C_1 ile modellenmiş olup, merkez koordinatları $O_1(0,S_{tr})$ ve yarıçapı R_{trocho} dur. Kesici takım merkez konumu O_c u ile x arasındaki θ açısıyla parametrik olarak ifade edilmiştir.

$$\begin{aligned} X_c &= R_{trocho} \cos \theta \\ Y_c &= S_{tr} + R_{trocho} \sin \theta \end{aligned} \quad (6.12)$$

Radyal kesme derinliğinin hesabı C_{env} ile kesici takım arasındaki arakesiti $P_i(X_i, Y_i)$ noktasının belirlenmesine ihtiyaç duyar. P_i konumu elde edildikten sonra R_{dc} aşağıdaki şekilde hesaplanabilir,

$$\begin{aligned} X_i^2 + Y_i^2 &= R_{env}^2 \\ (X_i - R_{trocho} \cos \theta)^2 + (Y_i - S_{tr} - R_{trocho} \sin \theta)^2 &= R_{tool}^2 \end{aligned} \quad (6.13)$$

$$R_{dc} = \overrightarrow{P_i O_c} \cdot \vec{u} + R_{tool} = (X_i - X_c) \cos \theta + (Y_i - Y_c) \sin \theta + R_{tool} \quad (6.14)$$

Bu dairesel model doğrudan $(R_{tool}-R_{trocho}-S_{tr})$ formülünden radyal kesme derinliğinin hesaplanmasına izin verir. Pratikte beş frezeleme hali ortaya çıkar. Bunlardan üç tanesi limit halleri olup tam daldırma frezelemeye yol açar. Trokoidal bir takım yolu kullanılması istenmediğinden bu frezeleme konfigürasyonlarından bu nedenle kaçınılmalıdır. Diğer 2 olağan durumda ise; radyal kesme derinliği kontrol edilebilir olduğundan konfigürasyonlar uygundur. Böylece, verilen bir kesici takım ve trokoid yarıçapı için S_{tr} ötelemesi modifiye edildiğinde beş konfigürasyon ortaya çıkar. Radyal kesme derinliği 1, 2 ve 3. durumlarda takım çapı değerine ulaşır ki bu kabul edilemez. Buna karşılık maksimum radyal kesme derinliği değeri olağan 1 ve 2. durumlarda kontrol edilir. Bu örnekler trokoidal stratejiler kullanarak imalat prosesinin iyileştirilmesinde, takım yolu parametrelerinin doğru olarak seçilmesinin taşıdığı önemin altını çizilmektedir. Bunun yanında, her iki konfigürasyon da olası her kesme derinliği değerine de ulaşmaya izin verir. Aralarındaki farklılık ise trokoidal çevrim boyunca kesmenin maksimum derinliğinin konumundan kaynaklanmaktadır.

6.3.2 Trokoidal Model

Otkur ve Lazoğlu (2006) dairesel model yanında trokoidal model geliştirmişlerdir. Bu geliştirmeyi yaparken radyal kesme derinliği hesabı, trokoidal eğri tanımına matematiksel olarak tamamen uygun trokoidal bir model kullanılarak elde etmişlerdir. Bölütler ve daireler arasında bağlantıda ivmelenme süreksizlikleri oluşturan dairesel modelin tersine, trokoidal model trokoidin teğetlik ve eğrilik olarak sürekliliği hem ilerleme hızı hem de ivmelenme sürekliliği sağlar. Trokoidal modele dayanarak takım yolu oluşturma uygulanan işleme tezgâhının kinematik davranışı açısından daha iyidir.

Bununla birlikte, takım yolu modeli gerçek bir trokoid olduğunda radyal kesme derinliğinin hesabı dairesel modelde olduğu kadar kolay olmayıp, sayısal bir hesaplama gerektirir. Trokoidal model kullanarak, O_c takım yolu noktası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\overrightarrow{OO_c} = \begin{cases} X_c = 0 + R_{trocho} \cos \theta \\ Y_c = S_{tr} \frac{\theta}{2\pi} + R_{trocho} \sin \theta \end{cases} \quad (6.15)$$

Takım yolu zarf noktası,

$$\overrightarrow{OP_i} = \overrightarrow{OO_c} - S_{tr} \vec{j} + R_{tool} \frac{\vec{n}}{\|\vec{n}\|} \quad (6.16)$$

n vektörü O_c ile belirtilen eğri yörüngeye normaldir. Her bir O_c takım yolu noktası için radyal kesme derinliğini hesaplamak için P_i noktası aşağıdaki eşitlikten elde edilir.

$$\|\overrightarrow{O_c P_i}\| = R_{tool} \quad (6.17)$$

Sonrasında maksimum radyal kesme derinliği hesabı sayısal hesaplama ile elde edilir. Önerilen metot çift iterasyon gerektirir. Öncelikle tüm takım yolu tanımlanır. Her ihtiyaç duyulan nokta için, zarf eğri P_i karşılık noktasını tanımlamak için hesaplanır.

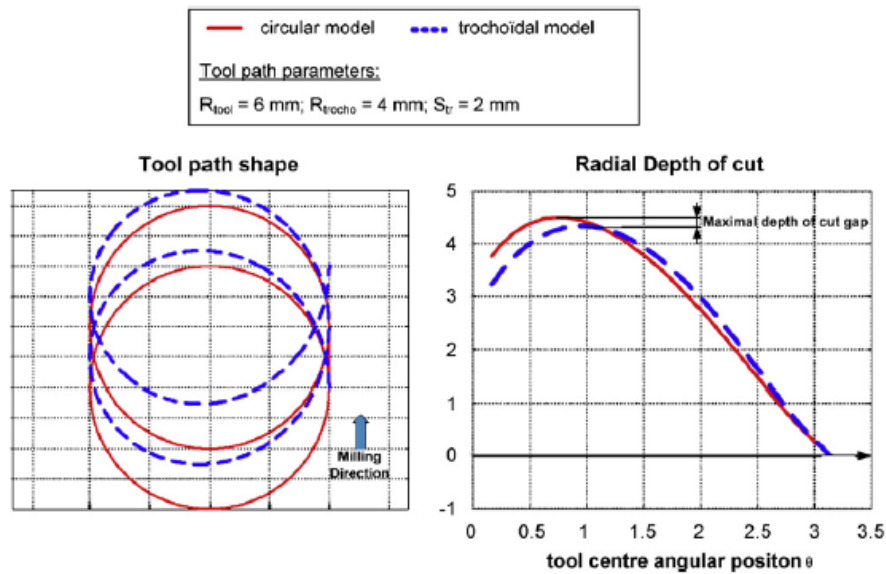
Eğriler, zarf eğrisi için 5000 noktanın ve maksimum radyal kesme derinliğine ait teorik değeri hesaplayabilmek için takım yolunun yarısı için 500 nokta görüntülenmesiyle ayrıştırılmıştır. Tam daldırma frezeleme halleri üzerinde çalışılmamıştır. Toplamda 461927 işletilebilir hal elde edilmiştir. Bunların 391881 tanesi UC1 için 70046 tanesi ise UC2 içindir. Yaklaşım hatası UC1 için %-2,85 ile %1,90 arasında değişirken bu oran UC2 için yine %-2,85 ile %0,008 arasındadır. Sonuç olarak, radyal kesme derinliği takım çapının %30'undan daha küçük olduğunda hata değeri her zaman takım çapının %0,3'ünün altında olmaktadır.

Radyal kesme derinliği yüksek bir derinliğe sahip olduğunda (%80 üzerinde) hata oranı %2 ile %3 arasında değişmektedir. Bu hesaplama metodu küçük ve büyük radyal kesme derinlikleri için oldukça iyi sonuç verir. Bu nedenle uygulanması tercih edilebilir. Daha sonra dairesel model ve trokoidal modeli karşılaştırdıklarında geometrik ve kinematik yaklaşımda birbirlerinden oldukça farklı olduklarını görmüşlerdir. Dairesel modelde en önemli nokta analitik hesaplama sayesinde maksimum radyal kesme derinliğinin belirlenmesidir. Ayrıca, bu model optimum trokoidal takım yolu parametrelerinin seçiminde birincil olarak uygulanabilir.

Bununla birlikte, iki model arasındaki farklılığı hesaplamak yararlı olacaktır. Öyle ki, takım yolu parametrelerinin seçiminde dairesel model kullanılırken benzerlik uygulanarak hesaplama yapılmıştır. Öncelikle bilinmelidir ki, trokoidal model yukarıya doğru düzgünleşen simetrik olmayan takım yolları oluşturur. En üst nokta yer değiştirme ekseninde yer almamaktadır. Her bir model ile açıklanan geometriler arasında gözlemlenen farklılık, radyal kesme derinliği değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Trokoidal model için en üst nokta kademelendirildiği gibi, maksimum kesme derinliği de dairesel modele göre ayrıca kademelendirilmiştir. Dahası, maksimum kesme derinliği değeri, bu parametrelerin kullanıldığı trokoidal model ile kıyaslandığında daha küçüktür.

Bu hipotezi geliştirmek ve doğrulamak için maksimum radyal kesme derinliği daha önce sunulan olağan durumlar hesaplanmıştır. Sonuç göstermiştir ki, trokoidal modelden hesaplanan radyal kesme derinliği, dairesel modelden elde edilen değerden daha küçüktür.



Şekil 6.11 Radyal Kesme Derinliklerinin her iki model için Karşılaştırılması (Otkur vd., 2006).

Pratikte, Str arttıkça ve Trokoidal radyus azaldıkça yani radyal kesme derinliği arttıkça farklılık oldukça artar. Dolayısıyla çok düşük radyal kesme derinliklerinde bu farklılık önemsiz bir hale gelmektedir. Frezeleme uygulamalarında tam daldırma yapmadan yüksek radyal kesme derinliklerinde işlemede, yaklaşık % 60-70 pratik uygulamada görülmüştür ki, verilen bir maksimum radyal kesme derinliği için dairesel modele göre ilerlemenin %25 oranında azaltılabildiği trokoidal model işleme zamanını % 25 oranında azaltmaktadır.

Bu takım yolu uzunluğu azaltmaları, tezgâh takımlarının kinematiksel davranışına göre üretim zamanları üzerinde büyük ya da küçük etkiler yaratabilir. Gerçekte, trokoidal ve dairesel model temelde birbirinden farklıdır. Dairesel model kolay programlanabilir fakat hızlanma süresizlikleri gösterir.

Oysa trokoidal model tam bir süreklilik sağlamasına rağmen ileri düzeyde programlama gerektirir. Bununla birlikte, yüksek seviye interpolasyon formatları (spline, NURBS vs.) ve işleme ilerleme oranı artışı profil sürekliliği sınırlarını güçlendirir. Sonuç olarak, dairesel model sadece parametre seçiminin ve takım yolu şeklinin iyileştirilmesinde kullanılmalıdır.

Oysa trokoidal model takım yolu oluşturmada uygulanmalıdır. Sonuç olarak bu çalışmanın izleyen kısımlarında trokoidal model kullanılacaktır. Tezgâh takımları davranışı ve tezgâh parçalarının kalitesinin trokoidal model uygulaması bundan sonraki kısımda incelenecektir.

6.3.3 Tüm Takım yolunun hesaplanması

Araştırmacılar bu kısımda, daha önce belirlenen modele göre tüm takım yolu hesaplamıştır. Hedef işleme tezgâhında en hızlı takım hareketini oluşturmaktır. İşleme esnasında ilerleme hızının düşmesine neden olan çok önemli iki parametre vardır. Bunlardan birincisi teğetliğin kesiti ve takım yolunun eğrilik süreksizliği ile ilgilidir. İkincisi ise herhangi bir şekilde CNC den kaynaklanabilecek bir problem oluşturmayacak şekilde yüksek ilerleme hızı sağlayan uygun bir takım yolu interpolasyon formatının seçimi ile ilgilidir. Tüm takım yolunun oluşturulması iki önemli konunun üstesinden gelenebilirse sağlanabilir.

7. UYGULAMALAR ve SONUÇLAR

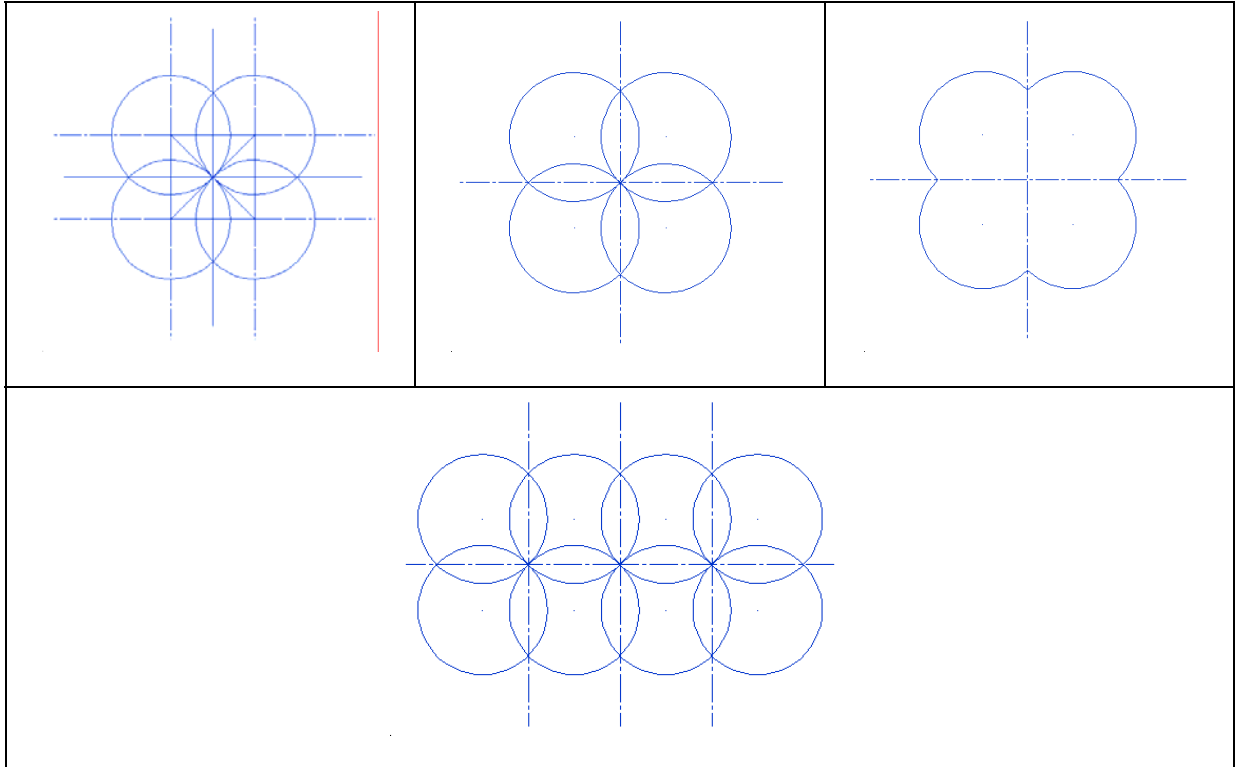
CAD yardımı ile takım yolu algoritmaları oluşturulmuş, bilgisayar programı yardımıyla simüle edilmiş ve malzeme üzerinde işlenmiştir. Simülasyonlarda ilerleme hızı yöntemleri birbirleri ile eşit şartlarda karşılaştırabilmek için tüm yöntemlerde 50 mm/dak olarak alınmıştır. Uygulamada ilerleme hızı hızlı proses için 500 dev/dak olarak alınmıştır.

7.1 Algoritmaların Oluşturulması

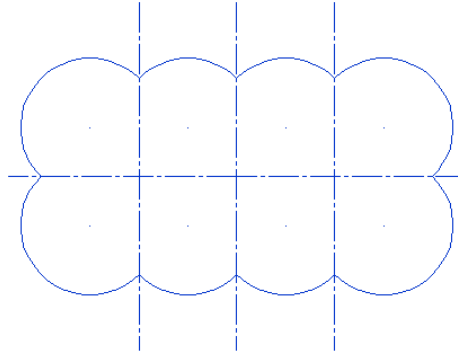
Dalarak kaba işleme ait bir adet ve Dalarak kaba işleme ve Trokoidal işleme kombinasyonu için ise üç adet olmak üzere toplamda dört adet algoritma üzerinde çalışılmıştır. Dört farklı uygulamaya ait algoritmaların oluşturulmasında aşağıda detaylarıyla görülebilecek çizimlerden yola çıkılmıştır.

7.1.1 Dalarak Kaba İşleme Algoritmasının Oluşturulması

Çapı 20mm olan dört daire (Şekil 7.1) $X=0$, $Y=0$ noktasına sahip olmak üzere birbirini kesecek şekilde yerleştirilmiştir. Dairelerin içerisinde kalan daireye ait kısımlar silinerek kesici takımın dalarak boşaltacağı malzeme alanı elde edilmiştir. Taslak algoritma ötelenmek suretiyle birleştirilerek tüm takım yolu ortaya çıkarılmıştır (Şekil 7.2).



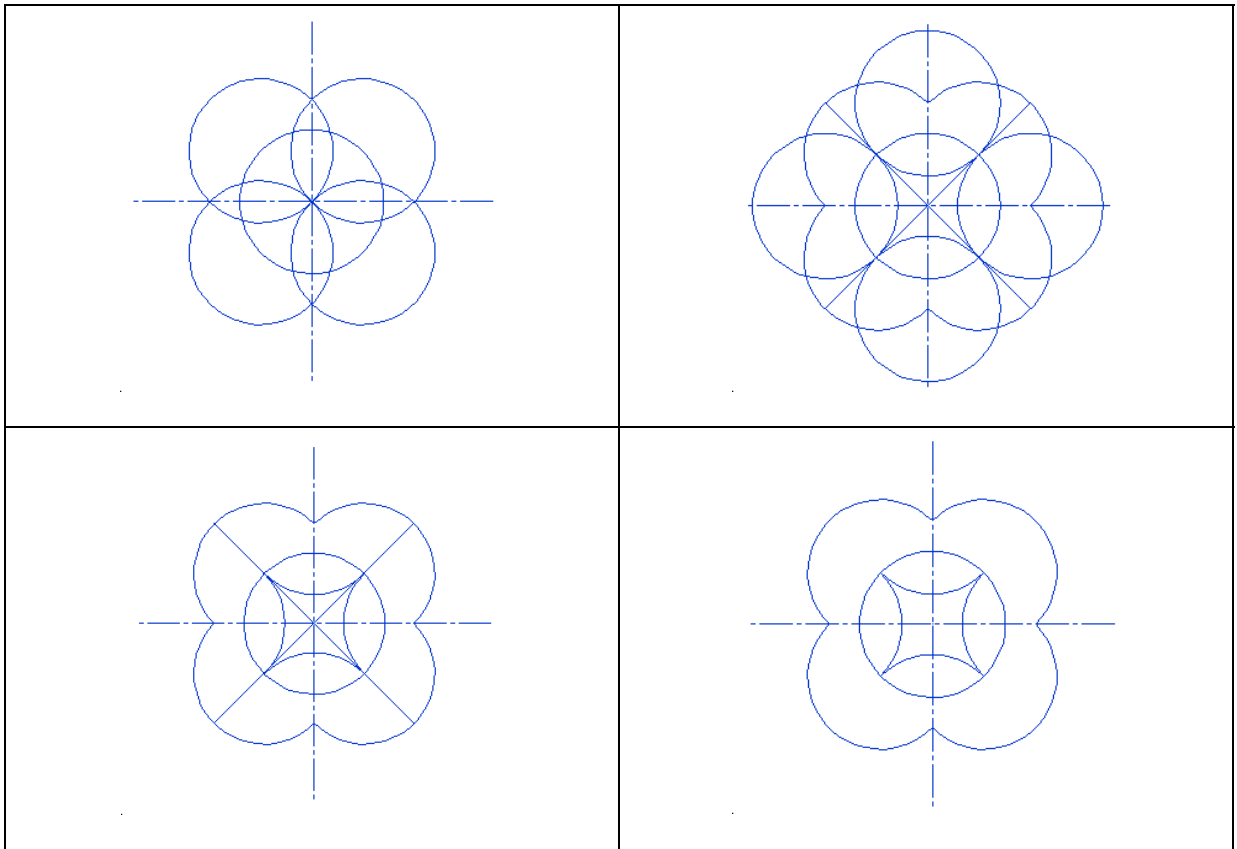
Şekil 7.1 Dalarak kaba işleme algoritmasının CAD yardımıyla oluşturulması.



Şekil 7.2 Dalarak kaba işleme algoritması.

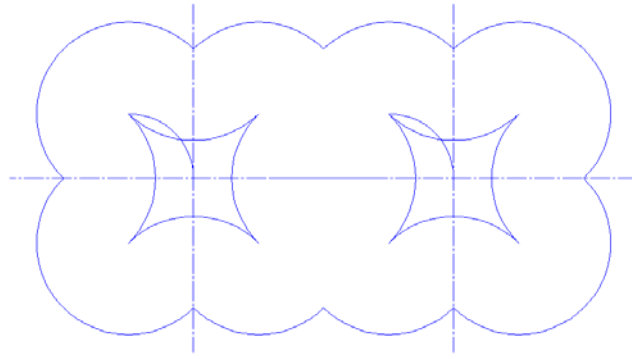
7.1.2 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1

İlk yöntemde olduğu gibi yine burada da 20mm yarıçaplı bir kesici takım kullanılacağı varsayılarak, kesici takımın tarayacağı alan ilk yöntemdeki ile aynı olması için çapı 20mm olan dört daire $X=0$, $Y=0$ noktasına sahip olmak üzere birbirini kesecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 7.3 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-1 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.

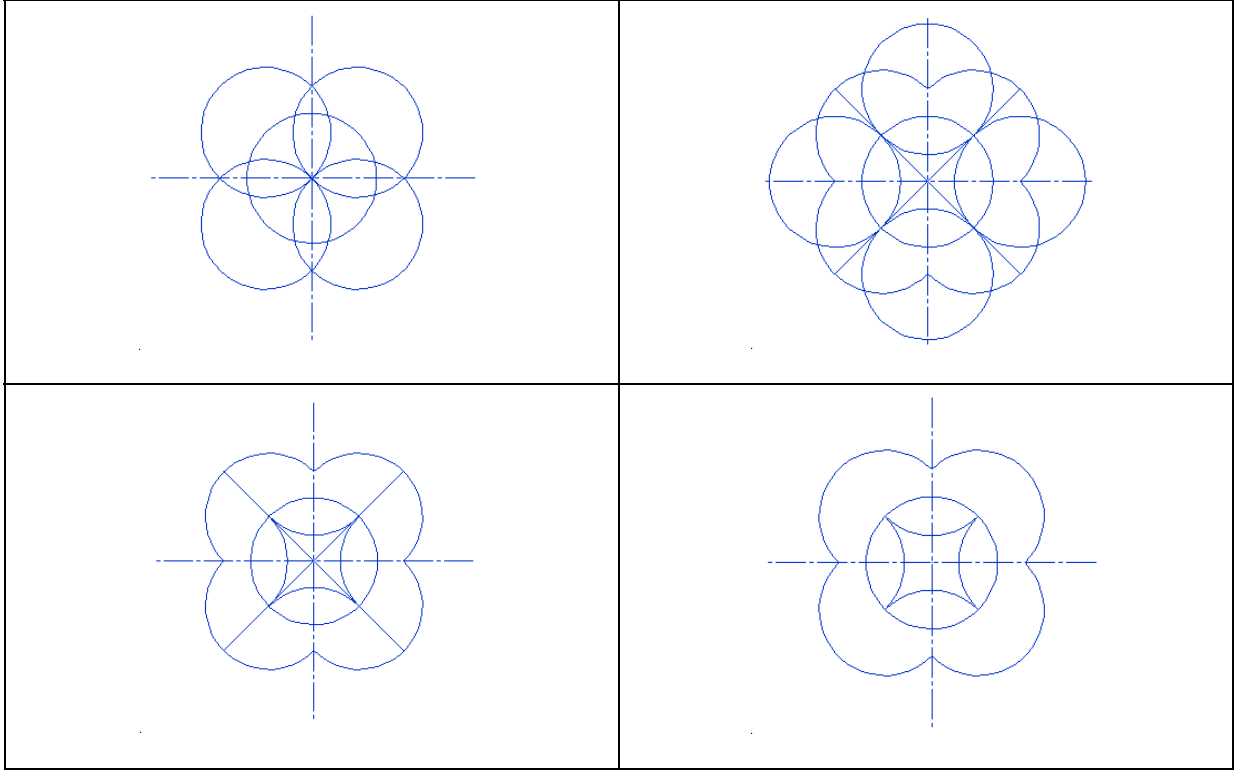
Kesici takımın izleyeceği yolu oluşturabilmek için ise $X=0$, $Y=0$ merkezini kesen 45 derecelik açığa sahip 2 çizgi çizilmiş ve bunlara 2 noktadan teğet olacak şekilde 20 mm yarıçaplı daireler yerleştirilmiştir. Bu 20 mm yarıçaplı 4 dairenin $X=0$, $Y=0$ noktası merkez olacak şekilde çizilen bir dairenin içinde kalan kısımları dışındaki çizgiler silinerek kesici takımın izleyeceği yol elde edilmiştir. Bu algoritmada hareketin merkezden başlatılması öngörülmüş ve bu nedenle merkez noktadan ($X=0$, $Y=0$) takımın izleyeceği yol üzerindeki ilk noktaya bir yay çizilmiştir. Bu işlem sonucunda Dalarak Kaba İşleme Algoritması yönteminde taranacak alan ile boşaltılacak alana eşit bir malzeme boşaltma alanı elde edilmiştir.



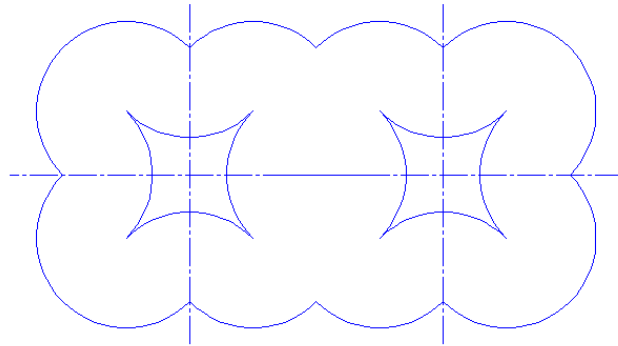
Şekil 7.4 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1.

7.1.3 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2

Bir önceki Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 yönteminde olduğu gibi yine burada da 20mm yarıçaplı bir kesici takım kullanılmıştır. Kesici takımın tarayacağı alan ilk yöntemdeki ile aynı olması için çapı 20mm olan dört daire $X=0$, $Y=0$ noktasına sahip olmak üzere birbirini kesecek şekilde yerleştirilmiştir. Kesici takımın izleyeceği yolu oluşturabilmek için ise $X=0$, $Y=0$ merkezini kesen 45 derecelik açığa sahip 2 çizgi çizilmiş ve bunlara 2 noktadan teğet olacak şekilde 20 mm yarıçaplı daireler yerleştirilmiştir. Bu 20 mm yarıçaplı 4 dairenin $X=0$, $Y=0$ noktası merkez olacak şekilde çizilen bir dairenin içinde kalan kısımları dışındaki çizgiler silinerek kesici takımın izleyeceği yol elde edilmiştir. Bu algoritmada hareket, Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 deki merkez $X=0$, $Y=0$ noktasından başlatılmamış olup takım yolu üzerinde herhangi bir noktadan başlatılmıştır. Bu işlem sonucunda Dalarak Kaba İşleme Algoritması yönteminde taranacak alan ile boşaltılacak alana eşit bir malzeme boşaltma alanı elde edilmiştir.



Şekil 7.5 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-2 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.

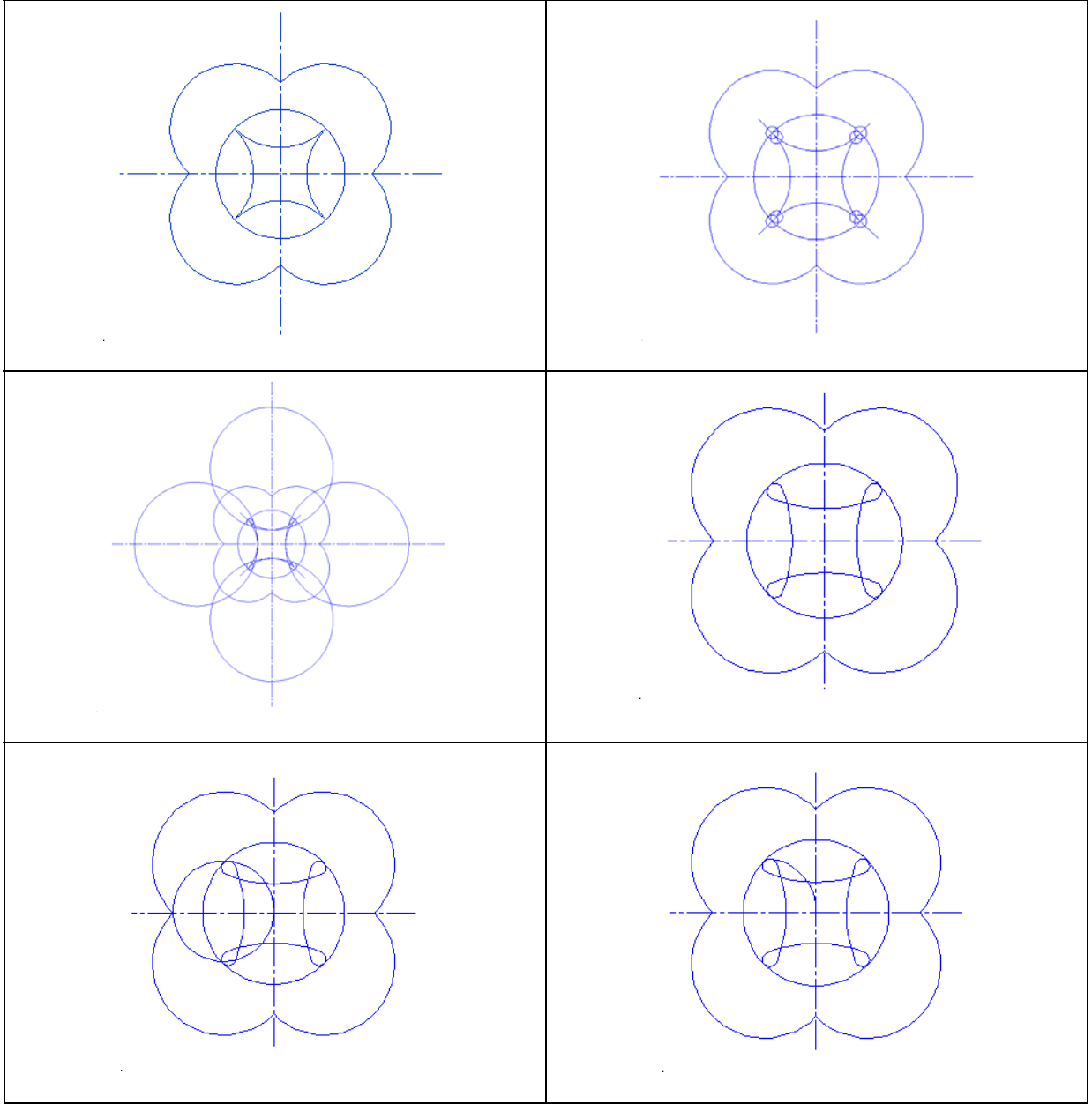


Şekil 7.6 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2.

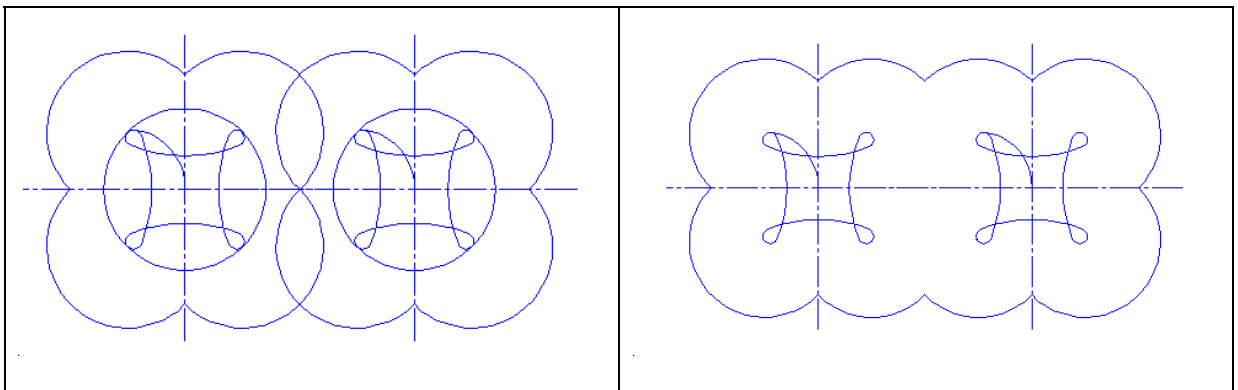
7.1.4 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3

Bu yöntemde takımın yapacağı hareketi kolaylaştırmak için köşe noktalarda çapı 1mm olan daireler çizilmiş ve kesici takımın izleyeceği yol eğrisini düzgün hale getirebilmek için bu küçük dairelere ikişerli gruplar halinde teğet olacak daireler çizilmiştir.

Takım hareketi yine merkezden yol üzerindeki ilk noktaya çizilen bir yay ile başlamaktadır. Bu alternatif yöntemle takımın boşaltacağı alan diğer 3 yöntemle göre ihmal edilebilir düzeyde daha fazladır.



Şekil 7.7 Dalarak kaba işleme ve Trokoidal İşleme kombinasyonu-3 için algoritmanın CAD yardımıyla oluşturulması.



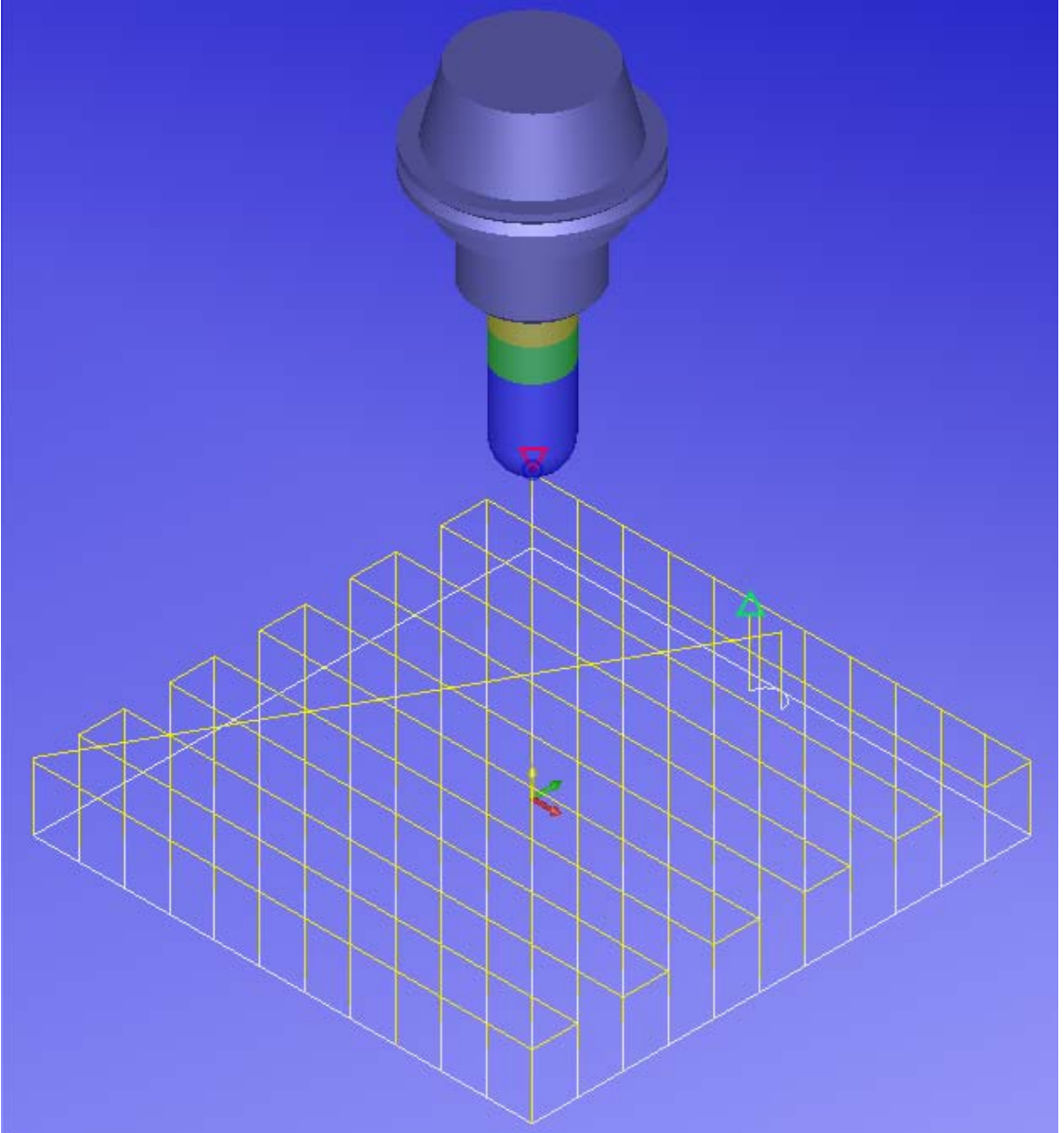
Şekil 7.8 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2.

7.2 CAM Programında Simülasyonların Oluşturulması

Dört farklı alternatif uygulama için CIMCO CAM programından faydalanılarak oluşturulan simülasyonlar, işlemeye ait postlar ve süreler bu bölümde incelenecektir.

7.2.1 Dalarak Kaba İşleme Algoritması Simülasyonu

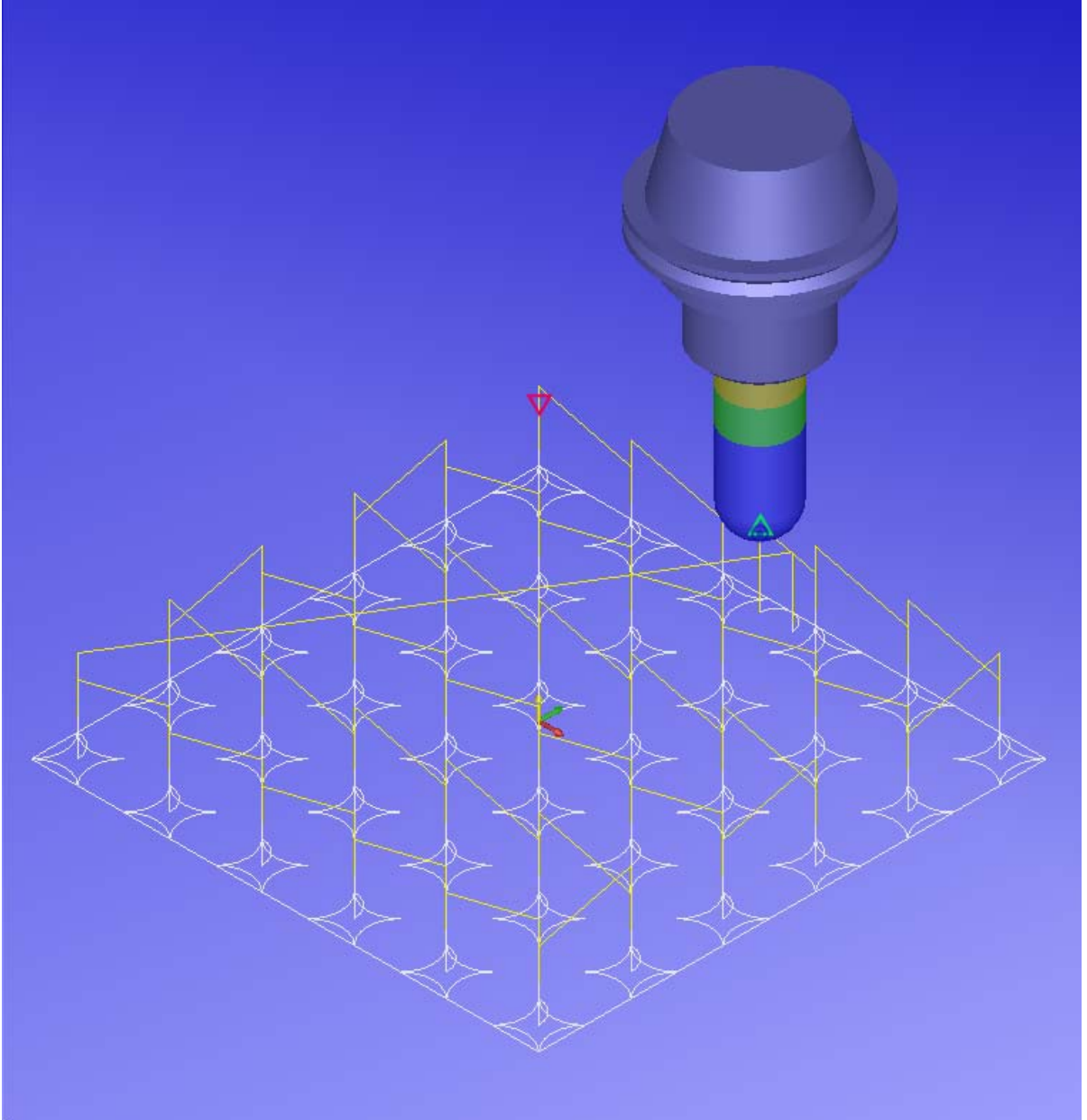
Malzeme 10 mm derinliğe sahip tek pasoda dalma işlemini gerçekleştirir. Kesici takım dalarak kaba işlemini tamamladıktan sonra boşaltılan cebe ait köşelerde kalan kısımlar sınır temizleme yöntemiyle temizlenmiştir.



Şekil 7.9 Dalarak Kaba İşleme Algoritması Simülasyonu.

7.2.2 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 Simülasyonu

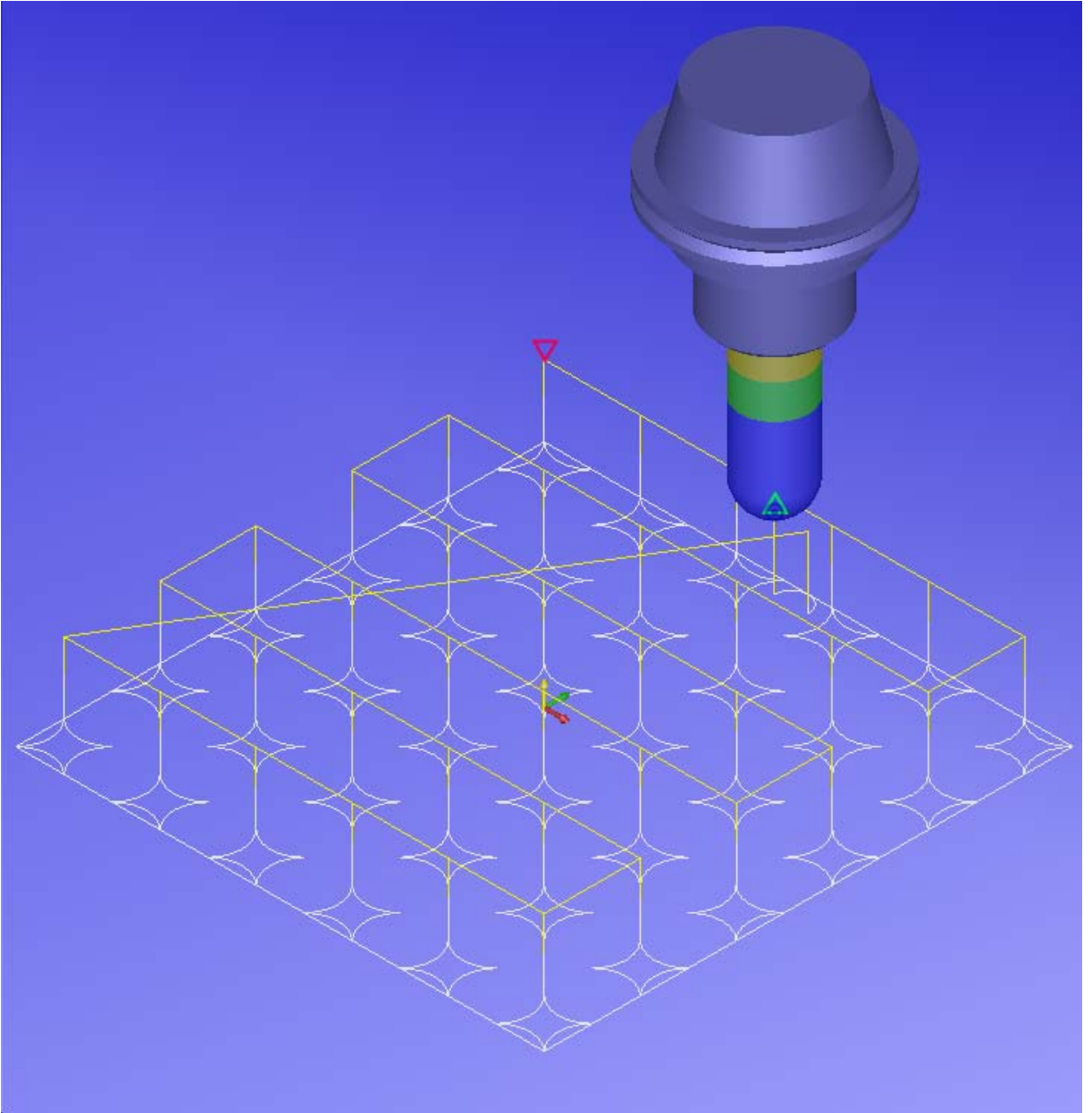
Bu algorithmada takım önce merkeze 10 mm paso derinliğine sahip olup merkeze bir dalma işlemi gerçekleştirir. Sonrasında 5 ayrı trokoidal yay çizerek malzeme boşaltır. Malzeme 1 dalma ve 5 trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra cebe ait derinlikten 11 mm Z ekseninde yukarı hareket yapmaktadır. Dolayısıyla yaklaşma mesafesi 1 mm dir. Kesici takım dalma ve trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra boşaltılan cebe ait köşelerde kalan kısımlar sınır temizleme yöntemiyle temizlenmiştir.



Şekil 7.10 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-1 Simülasyonu.

7.2.3 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2 Simülasyonu

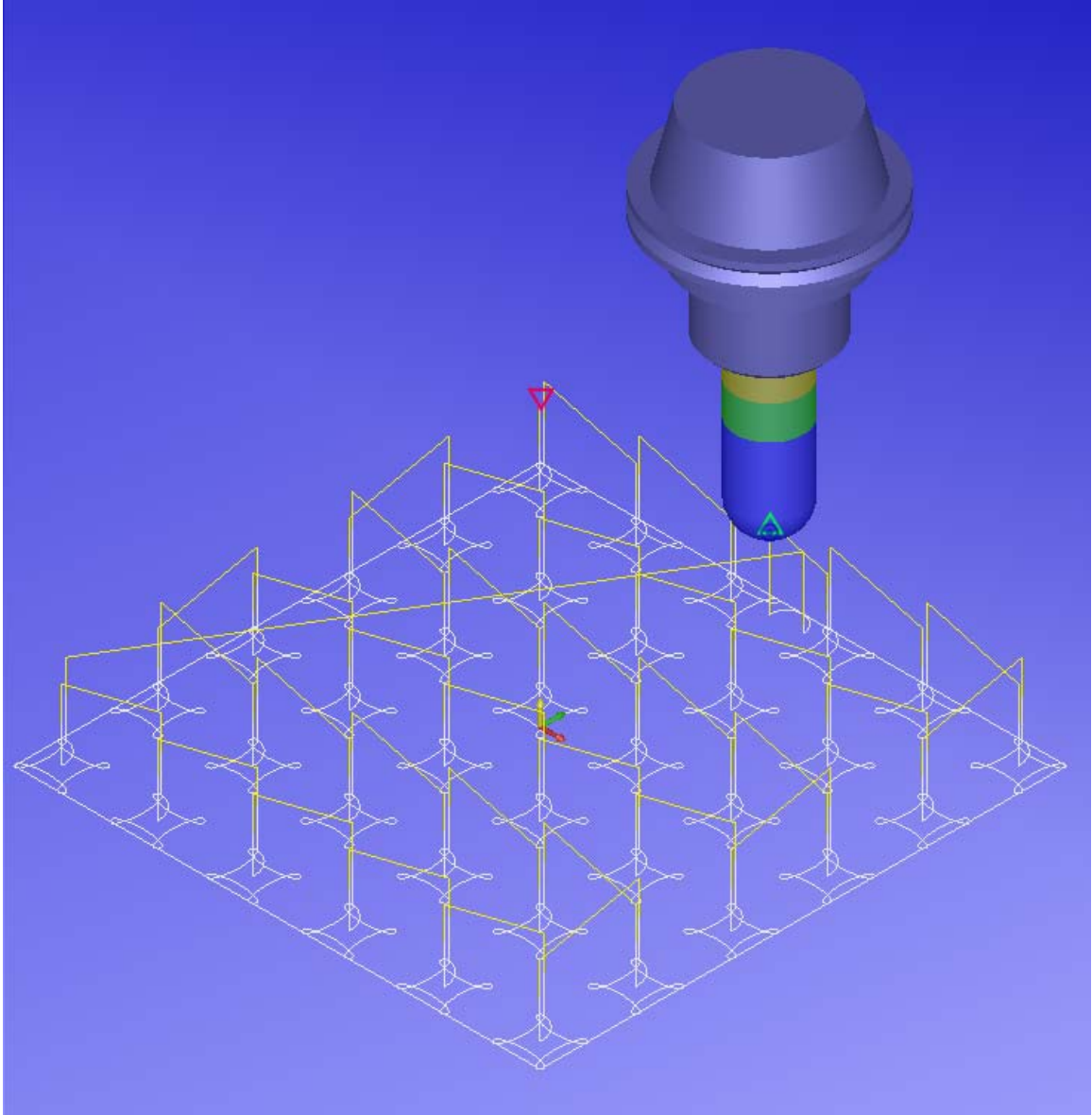
Bir önceki algoritmadan farklı olarak takım 10 mm paso derinliğinde dalmayı bu kez merkez yerine algoritmayı oluşturan 20 mm yarıçaplı bir dairenin merkezinden gerçekleştirir. Malzeme 1 dalma ve 4 trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra cebe ait derinlikten 11 mm Z ekseninde yukarı hareket yapmaktadır. Dolayısıyla malzemeye olan yaklaşma mesafesi 1 mm dir. Kesici takım dalma ve trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra boşaltılan cebe ait köşelerde kalan kısımlar sınır temizleme yöntemiyle temizlenmiştir.



Şekil 7.11 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-2 Simülasyonu.

7.2.4 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3 Simülasyonu

Bu algorithmada takım önce merkeze 10 mm paso derinliğine sahip olup merkeze bir dalma işlemi gerçekleştirir. Sonrasında 5 ayrı trokoidal yay çizerek malzeme boşaltır. Malzeme 1 dalma ve 5 trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra cebe ait derinlikten 11 mm Z ekseninde yukarı hareket yapmaktadır. 1 nolu kombinasyonla karşılaştırıldığında burada kesici takımın izlediği yol köşe noktalarındaki yuvarlatmadan dolayı daha fazla olup boşaltılan alan diğer yöntemlerden daha fazladır. Burada da yine yaklaşma mesafesi 1 mm dir. Kesici takım dalma ve trokoidal işlemeyi tamamladıktan sonra boşaltılan cebe ait köşelerde kalan kısımlar sınır temizleme yöntemiyle temizlenmiştir.

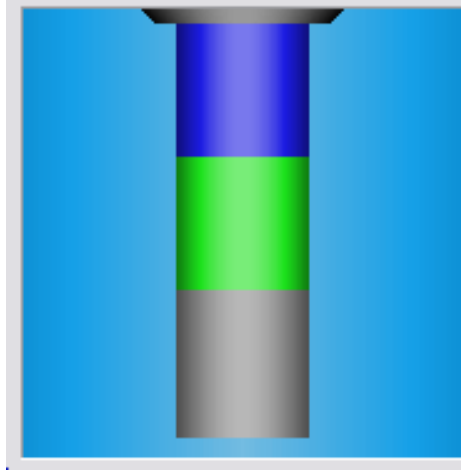


Şekil 7.12 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu-3 Simülasyonu.

7.3 Algoritmaya Ait Parametreler

7.3.1 Kesici Takım

Tüm algoritmalarda ortak olarak kullanılan kesici takıma ait parametreler aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.13 Kesici takım geometrisi.

- Kullanılan kesici takım düz uçlu parmak freze olup çapı 20 mm dir.
- Flüt uzunluğu 20 mm dir. (Şekil 7.13 de gri renkli olarak gösterilmiştir)
- Destek uzunluğu 40 mm dir. (Şekil 7.13 de yeşil renkli olarak gösterilmiştir)
- Gövde uzunluğu 60 mm dir. (Şekil 7.13 de mavi renkli olarak gösterilmiştir)

Tool library

Type:

Unit:

Diameter:

Corner radius:

Taper angle:

Flute length:

Shoulder length:

Body length:

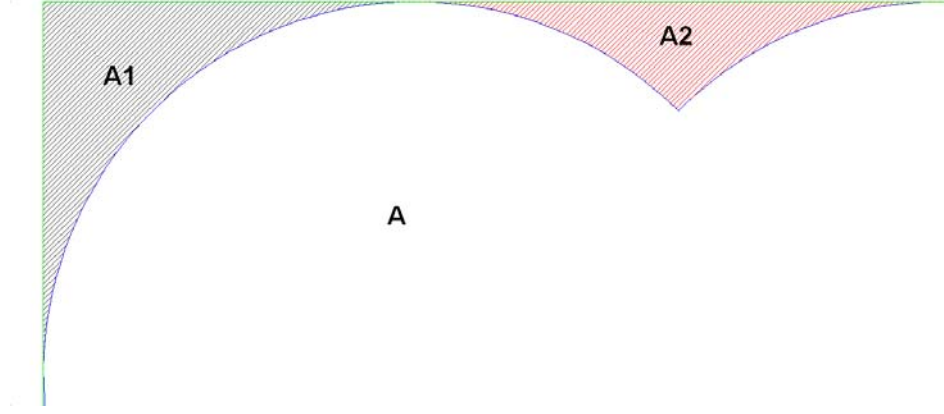
Arbor diameter:

Description:

Şekil 7.14 Kesici takım parametreleri.

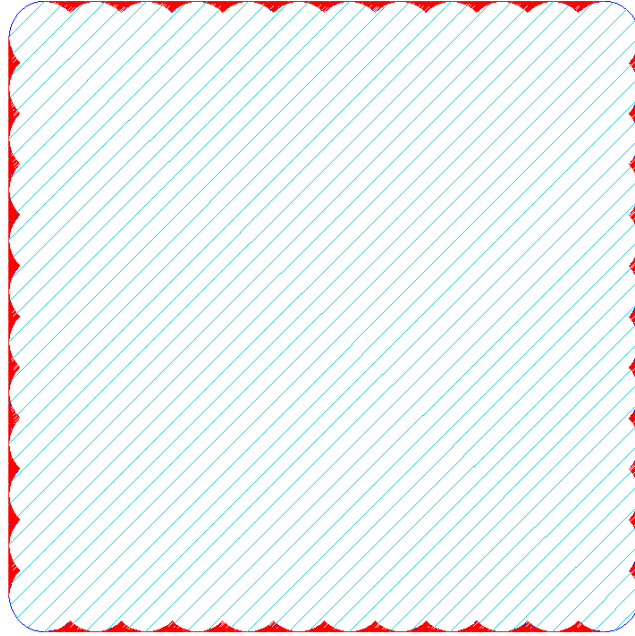
7.3.2 Boşaltılan Alan'a Ait Parametreler

Yukarıda detayları verilen her bir işleme sonucunda boşaltılan alan aynıdır ve çizimlerin oluşturulduğu ThinkDesign programındaki özellik sayesinde program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 7.15 CAD datasına ait alanlar.

Burada A alanı toplam boşaltılan alan, A1 köşede bırakılan radyuslar, A2 ise sınır temizleme yöntemi ile temizlenen alanı temsil etmektedir.



Şekil 7.16 Tüm boşaltılan alan.

Dalarak kaba işleme veya dalarak kaba işleme ve trokoidal işleme kombinasyonu yöntemiyle boşaltılan alan 301.69911 cm² olup iş parçası üzerindeki çevre alanı 75,39822 cm dir.

Area Analysis	
Total area (cm ²)	Total perimeter (cm)
301.69911	75.39822
Center of area (cm)	Moments of inertia (cm ⁴)
X: 139.51591	I _{xx} : 7583.07074
Y: 13.77961	I _{yy} : 7583.07076
	I _{xy} : -0.00014
Principal axes	Moments (cm ⁴)
Angles (deg)	I _{pxx} : 7583.07089
47.38813	I _{pyy} : 7583.07060
137.38813	
Close	Save As... Units...

Şekil 7.17 A alanına ait değerler.

Bu çalışmanın konusu olan iki kaba işleme metodu sonrasında sınır temizleme ile temizlenen alanlardan A1 alanı 0,21460 cm² iken A2 alanı için bu değer 0,12882 cm² olup seçilen geometri gereği toplamda $0,12882 \times 44 = 5,66808$ cm² lik alan temizlenmiştir.

Area Analysis		Area Analysis	
Total area (cm ²)	Total perimeter (cm)	Total area (cm ²)	Total perimeter (cm)
0.21460	3.57080	0.12882	2.98501
Center of area (cm)	Moments of inertia (cm ⁴)	Center of area (cm)	Moments of inertia (cm ⁴)
X: 130.96110	I _{xx} : 0.00755	X: 132.44484	I _{xx} : 0.00057
Y: 22.33442	I _{yy} : 0.00755	Y: 22.47267	I _{yy} : 0.00613
	I _{xy} : -0.00444		I _{xy} : -0.00000
Principal axes	Moments (cm ⁴)	Principal axes	Moments (cm ⁴)
Angles (deg)	I _{pxx} : 0.01198	Angles (deg)	I _{pxx} : 0.00613
45.00000	I _{pyy} : 0.00311	90.00000	I _{pyy} : 0.00057
135.00000		0.00000	
Close	Save As... Units...	Close	Save As... Units...

Şekil 7.18 A1 ve A2 alanına ait değerler.

7.4 Sonuçlar

7.4.1 Simlasyona Ait Sonuçlar

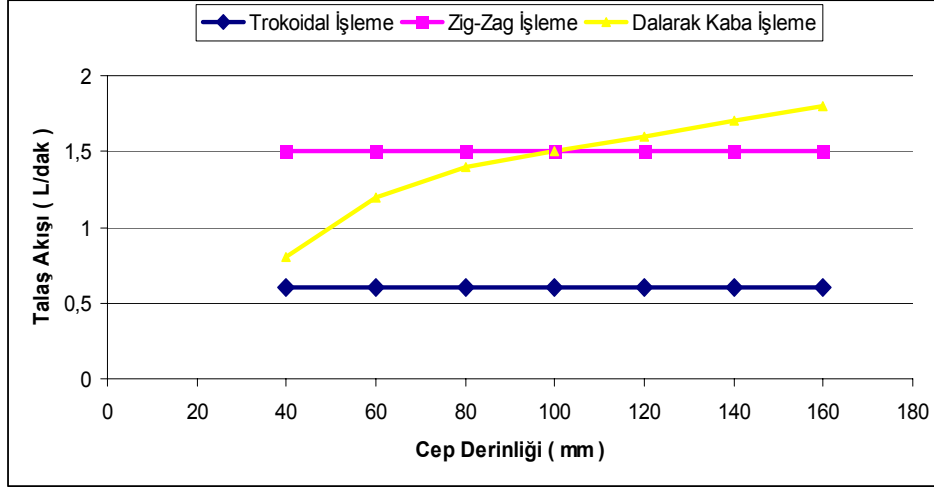
CIMCO programı için manüel olarak hazırlayıcı fonksiyon kodları ve yardımcı fonksiyon kodları yardımıyla oluşturulan ve algoritmalara uygun olarak hazırlanan makro postlarında işleme sürelerine ait aşağıdaki veriler (izelge 7.1) elde edilmiştir.

Çizelge 7.1 Simülasyonda işleme sürelerinin karşılaştırılması.

İşleme Yöntemi	İşleme Süresi (saat/dakika/saniye)
Dalarak Kaba İşleme (Tek Pasoda yapılan işleme)	00:39:10
Dalarak Kaba İşleme (İki Pasoda yapılan işleme)	00:42:00
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1	01:04:54
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2	00:57:35
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3	01:12:18

Sadece işleme sürelerini göz önüne alarak bir değerlendirme yapıldığında, dalarak kaba işleme yönteminin, dalarak kaba işleme yöntemiyle trokoidal işlemenin kombinasyonu ile oluşturulan yöntemlere karşı üstünlüğü olduğu ortaya çıkmıştır. Dalarak kaba işleme yöntemi gagalama yöntemi kullanılarak iki pasoda yapıldığında dahi daha avantajlıdır. Aslında simülasyondan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki hem dalarak kaba işleme hem de trokoidal işleme yöntemleri spesifik operasyonlarda hali hazırda kullanılan klasik yöntemlerle rekabet edecek düzeydedir. Kesici takımın dinamik performansı açısından bu iki yöntem diğer klasik yöntemlere göre daha üstündür. Her iki yöntemde de takım yolu üzerinde çok sayıda yön değiştirme söz konusu olup ivmesi düşük işleme söz konusu olduğunda herhangi bir avantaj sağlamamaktadır. Trokoidal işleme için takım yolu uzunluğu, dalarak kaba işleme veya zig-zag kaba işleme yöntemlerine göre çok daha uzun olduğundan verimlilik söz konusu olduğunda daha dezavantajlıdır. Rauch ve Hascoet'in (2007) birlikte yaptığı çalışma göstermiştir ki, eğer amaçlanan işlenen parça üzerindeki cebin kalitesi ise trokoidal işleme tüm diğer kaba işleme yöntemlerine oranla çok daha avantajlıdır. Yüzey pürüzlülüğü ve düzlemsellik söz konusu olduğunda en iyi kaba işleme yöntemidir.

Trokoidal işleme yönteminde radyal ilerleme ayarlanarak kesme kuvvetleri kontrol edilebilir. Daha derin işleme yapabilecek takımların kullanılmasıyla paso sayısı azaltılabilir. Rauch ve Hascoet (2007) yaptıkları deneyde alüminyum alaşımı bir malzeme ve daha sonra daha sert bir malzeme kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma göstermiştir ki sertliği daha yüksek malzemelerde trokoidal yöntem tercih edilmemelidir.



Şekil 7.19 Talaş Oluşumu.

Şekil 7.19 da dalarak kaba işleme, trokoidal işleme ve zig-zag işleme yöntemleriyle oluşturulan bir cepte talaş olumu gösterilmektedir. Grafikten dalarak kaba işleme yöntemi cep derinliği arttıkça artan talaş oluşumu değeri ile diğer yöntemlere göre verimlilik açısından üstünlük sağlamaktadır. Cebe ait derinlik cebin genişliğinden daha büyük olduğu durumlarda ise dalarak kaba işleme diğer tüm klasik kaba işleme yöntemlerinden daha iyi sonuç verir. Cep üzerinde bir ada olması talaş akışını etkilememektedir.

Daha öncede bahsedildiği üzere kaba işleme yöntemi dalarak kaba olduğunda, iş parçası yüzeyinde kalan parçalar finiş işleme için problem teşkil etmektedir. Yine takım ömrü açısından yaklaşıldığında dalarak kaba işleme ve zig-zag işleme yönteminde kesici takımda meydana gelebilecek esnemeler kesme kuvvetleri ile orantılı olarak daha fazladır.

Dolayısıyla dalarak kaba işleme yöntemi sığ cepler için daha uygundur. Trokoidal işleme sonucunda çoğu zaman herhangi bir finiş işleme stratejisine ihtiyaç duyulmamaktadır ve takım iş parçası ile hafif temas koşullarında (kesici takımın sadece bıçak ağzı teması) trokoidal bir yol izleyerek iş parçasının hassas bir şekilde dilimlenerek işlenmesini sağlar.

7.4.2 Uygulama Parametreleri ve Sonuçlar

7.4.2.1 Kestamid (İşlenen Parça)

Gerçekleştirilen dört ayrı uygulamada 200x200x25 mm³ lük kestamid bloklar kullanılmıştır. Kestamid, kimyasal yönden çapraz bağlı (cross-linked) moleküler yapısı nedeni ile üstün özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok yüksek olmasından dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastiklerinden biridir. Kestamid çok yüksek molekül ağırlığı, kristal yapısı ve çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı ve Nylon 6'ya göre daha az su emen sağlam bir plastiktir. Kestamidin bilinen mekanik ve fiziksel özelliklerini daha da arttırmak amacı ile özel katkıli tipleri de günümüzde imal edilmektedir. Döküm yoluyla elde edilen, sık bir dokuya sahip mekanik, elektriksel, fiziksel ve kimyasal dayanımı yüksek bir plastik olan kestamid özellikle darbelere, yüke, yorulmalara karşı çok yüksek dirençlidir. Bunun yanında ısı dayanımı yüksek, sürtünme katsayısı düşüktür.

Kimya, gıda, kâğıt, tekstil, demir-çelik, demiryolları, şişeleme, iş makineleri gibi ağır sanayi sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kızaklar, tekerlekler, rulolar, dişliler, yataklar, makaralar, aşınma plakaları, kasnaklar vb.).

Haddehanelerde, çalışma ortamı gereği, yüksek mekanik dayanım ve yüksek sıcaklık dayanımı birlikte aranan özelliklerdir. Kestamidin bu özellikleri bünyesinde bir arada bulundurması ve ayrıca yağlama gerektirmemesi, onun haddehane yatak, kızak ve pabuçları için ideal bir malzeme olmasını sağlar.

Demiryolu sektörü kestamidin sahip olduğu yüksek darbe ve aşınma dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve üstün mekanik özellikleri ile bütün dünyada demiryollarında ve trenlerde güvenle kullanılmaktadır.

Makaralar, kasnaklar, çelik halat ve tellerin iletiminde, alüminyum ve metal profillerin yönlendirilmesinde, asansör, teleferik ve havai hatlarda, sessiz çalışması, aşınmaması ve korozyona dayanması istenen yerlerde kestamid rakipsiz bir çözümdür.

Makine parçalarında kestamid ambalaj, tekstil, metal işleme, deri, kimya, inşaat, vb. tüm makinelerde, metal malzemenin yerine başarıyla kullanılmaktadır. Hafif olması, korozyona dayanması, darbe dayanımı ve üstün mekanik özellikleri kullanıcıya büyük avantaj sağlamaktadır. Kestamide ait özellikler için sayısal değerler Çizelge 7.2 de sunulmuştur. Ayrıca referans standartlar çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.2 İşlenen malzemeye (Kestamid) ait özellikler

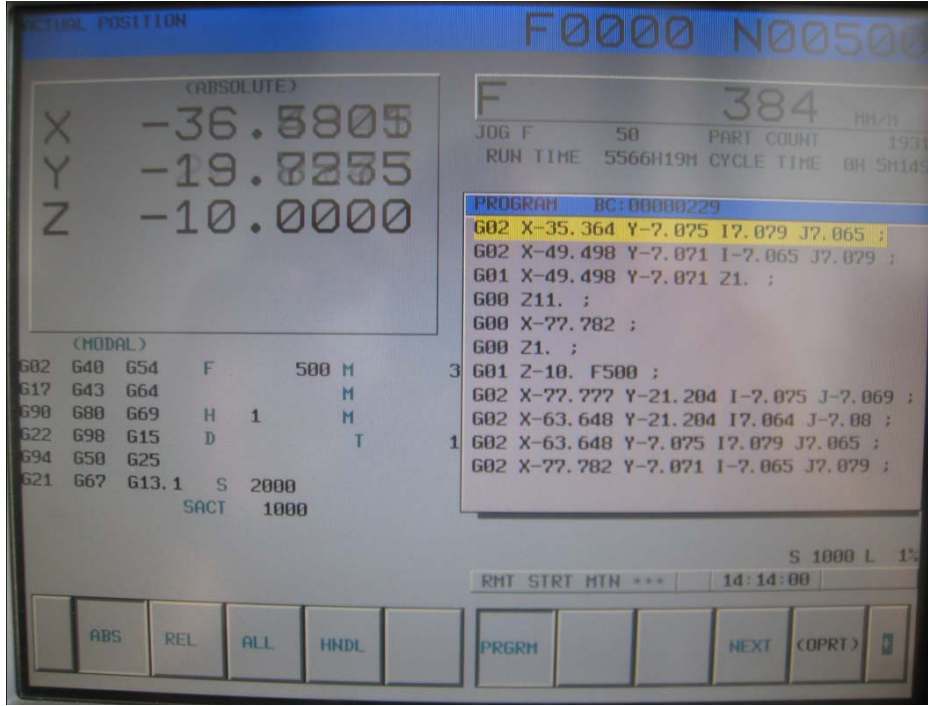
Yoğunluk	1,15 gr/cm ³ (DIN 53749)
Çentik Darbe	MIN4 J (DIN 53453)
Sertlik	MIN82 (DIN 53505)
Çekme Dayanımı	600-900 kg/cm ³ (DIN53455)
Kopma Uzaması	%20 (DIN53455)
Su Emme	%2,5-3 (Doymuş %50 RH)
Erime Noktası	220°C (DIN 53736)
Sürekli Kullanma Sıcaklığı	120°C
Kısa Süreli Kullanma Sıcaklığı	160°C
Dielektrik Dayanım	30 kV/mm (DIN 53481)

7.4.2.2 CNC Freze Tezgâhı

Uygulamada Fanuc Series 18I-MB tipi freze tezgâhı kullanılmıştır.



Şekil 7.20 Fanuc Series 18I-MB tipi CNC freze tezgâhı.



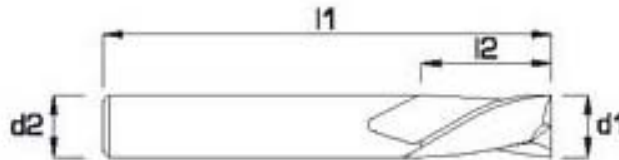
Şekil 7.21 Fanuc Series 18I-MB tipi CNC freze tezgâhı kontrol ünitesi.

7.4.2.3 Kesici Takım

Kestamid blokların işlenmesinde kullanılan 20 lik düz freze takımı Şekil 7.22 de görülebilir.



Şekil 7.22 Uygulamada kullanılan düz freze takımı.



Şekil 7.23 Kesici takıma ait ölçüler.

Kullanılan düz freze takımı ölçüleri ise $d_1 = 20$ mm, $d_2 = 20$ mm, $L_1 = 120$ mm ve $L_2 = 55$ mm

7.4.2.4 Uygulamaya Ait Sonuçlar

Simülasyonda ilerleme hızı değeri 50 mm/dak iken uygulamada ise simülasyondan farklı olarak ilerleme hızı 500 mm/dak olarak alınmıştır. 4 farklı işleme operasyonu sonucunda elde edilen değerler göstermiştir ki, dalarak kaba işleme yönteminde kesici takımın kat ettiği mesafe en az olmaktadır (3.777,4 m).

İşleme süresi açısından tüm yöntemler arasında karşılaştırılma yapıldığında yine tek pasoda yapılan dalarak kaba işleme operasyonu en iyi süreyi vermektedir (00:06:17). (Çizelge 7.4)

Yine takım yolu mesafesi göz önüne alınarak yapılacak değerlendirmede görülmüştür ki tek pasoda gerçekleştirilen dalarak kaba işleme operasyonunda hem takımın boşta (2.664,1m) hem de iş parçasına temas halinde (6.113,3m) işleme süresi boyunca kat edilen yol en uzun takım yolunu ortaya çıkarmıştır. (Çizelge 7.3)



Şekil 7.24 Kombinasyon-2 ye ait işlemeden bir enstantane görünümü.

Çizelge 7.3 Uygulamada takımın kat ettiği yolların karşılaştırılması.

İşleme Yöntemi	Temas Halinde Takım Yolu (m)	Boşta (Rapid) Takım Yolu (m)	Toplam Takım Yolu (m)
Dalarak Kaba İşleme (Tek Pasoda yapılan işleme)	2.664,1	6.113,3	8.777,4
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1	3.407,4	1.500,8	4.908,2
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2	3.074,4	1.530,5	4.604,9
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3	3.791,3	1.333,3	5.124,6

İşleme operasyonu esnasında özellikle dalarak kaba işleme ve trokoidal işlemenin bir arada yapıldığı kombinasyonlarda sıkça meydana gelen sarmaları önlemek için CNC tezgâhı penceresi açılarak basınçlı hava ile kesici takım üzerine dolanan talaş önlenmeye çalışılmıştır. Normal operasyonda soğutucu sıvı ilavesi ile işleme yapılmıştır (Şekil 7.24)

Çizelge 7.4 Uygulamada işleme sürelerinin karşılaştırılması.

İşleme Yöntemi	İşleme Süresi (Saat/Dakika/Saniye)
Dalarak Kaba İşleme (Tek Pasoda)	00:06:17
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1	00:09:46
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2	00:09:13
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3	00:10:26



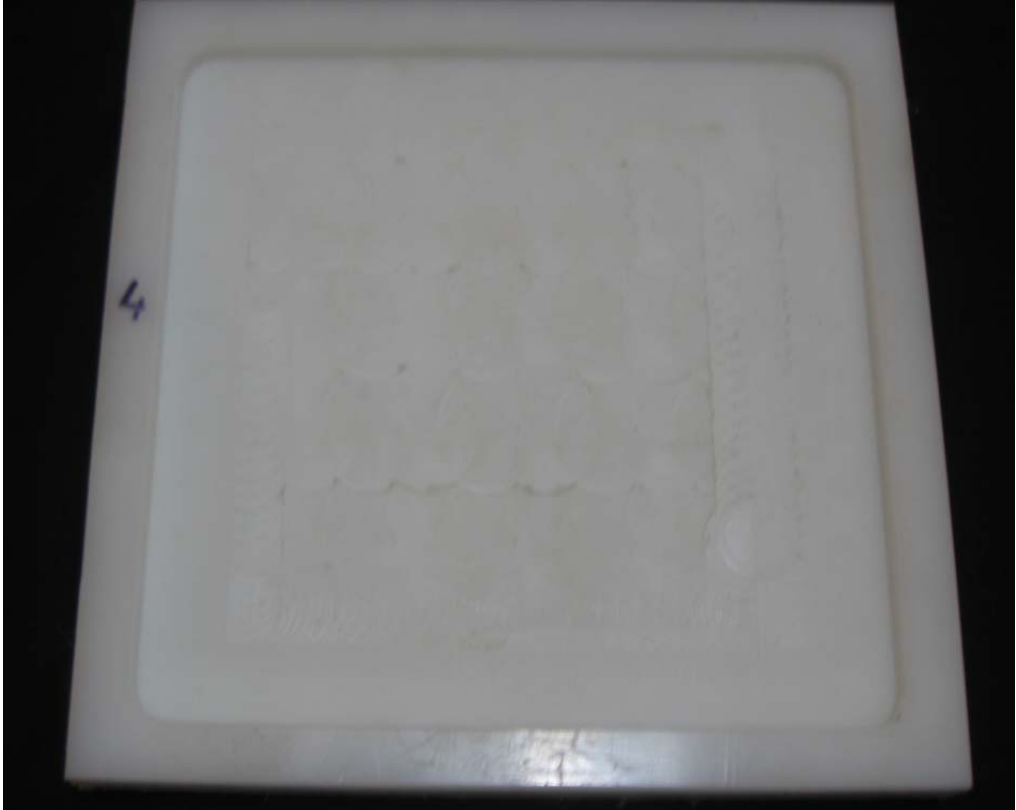
Şekil 7.25 İşleme operasyonu sırasında talaş oluşumu.



Şekil 7.26 Dalarak Kaba İşleme örneği.



Şekil 7.27 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1 örneği.



Şekil 7.28 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2 örneği.



Şekil 7.29 Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3 örneği.

DIN 4768 normuna göre yüzey pürüzlülüğü değerleri Ra ve Rz 'nin %2,5 hassasiyetle ölçümü için Siemens AŞ laboratuvarında MAHR PERTHEN M4P Ölçme Cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Burada Ra değeri aritmetik ortalama sapma ve Rz ise 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması değerlerini vermektedir. Ölçülen her bir değer doğruluğundan emin olmak için her bir parçada 2 ayrı noktadan ölçüm yapılmıştır.



Şekil 7.30 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.

Çizelge 7.5 İşleme operasyonlarına ait yüzey pürüzlülük değerleri.

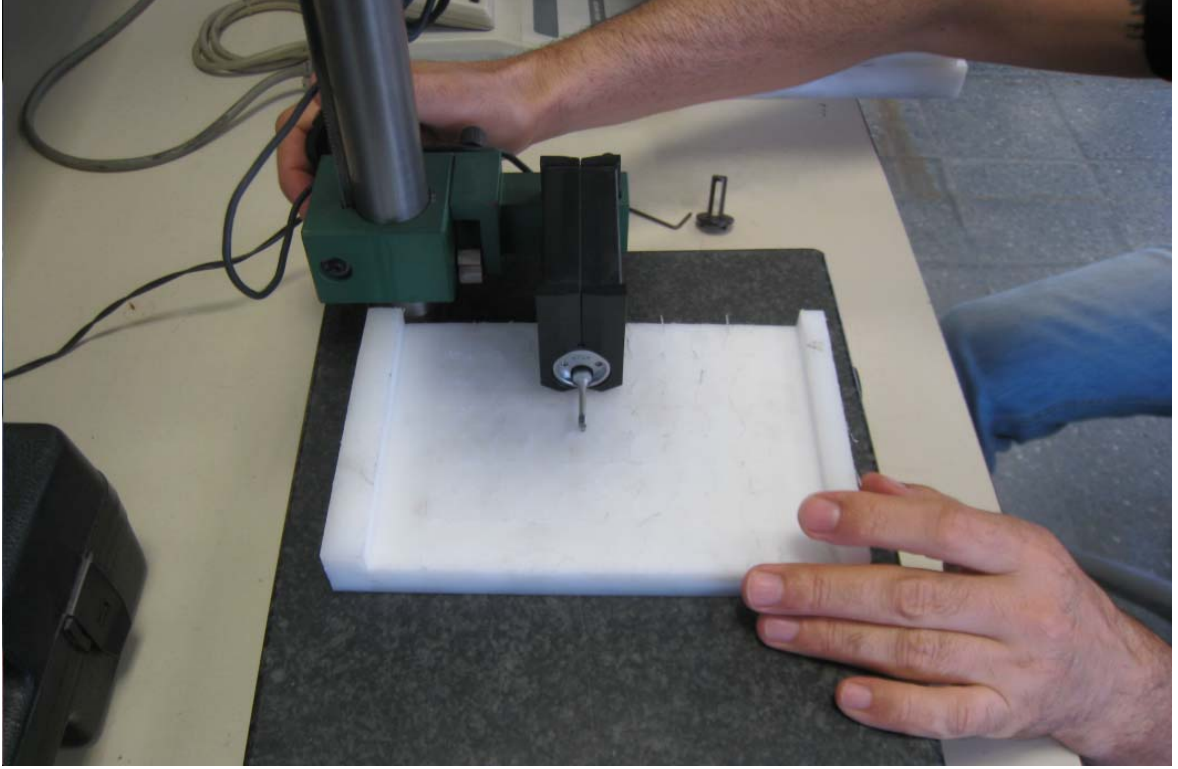
İşleme Yöntemi	Ra (μm)	Rz (μm)
Dalarak Kaba İşleme (Tek Pasoda yapılan işleme)	5,69 – 7,45	30,91 – 29,63
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 1	1,41 – 1,17	4,89 – 8,65
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 2	1,34 – 1,22	5,11 – 7,42
Dalarak Kaba İşleme ve Trokoidal İşleme Kombinasyonu – 3	0,77 – 0,61	4,60 – 3,84

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü sonucunda elde edilen değerler Rauch ve Hascoet'in (2007) dalarak kaba işleme için elde ettiği sonuçlarla birebir uyushmaktadır. Dalarak kaba işleme ile elde edilen yüzey mutlak suretle bir finiş işleme operasyonuna ihtiyaç duyar. Oysa dalarak kaba işleme ve trokoidal işlemenin kombinasyonu ile yapılan işlemlerde dalarak kaba işleme ile kıyaslandığında katbekat daha düzgün yüzey elde edilmiştir. Buradan trokoidal işleme sonucunda çoğu zaman bir finiş işleme operasyonuna gerek kalmayacağı sonucu elde edilebilir.

İşlenen malzemenin metal ve alaşımı malzemelere göre daha fazla esneme göstermesinin mümkün olması göz önüne alındığında metal bir malzemenin işlenmesinde çok daha iyi bir yüzey elde edileceği muhakkaktır.



Şekil 7.31 MAHR PERTHEN M4P Ölçme Cihazı sensör desteği.



Şekil 7.32 Malzemelere yüzey pürüzlülüğü ölçümünün uygulanması.

KAYNAKLAR

- Akkurt, Mustafa (1996), "Bilgisayar Destekli Takım Tezgâhları ve İmalat (CAD-CAM) Sistemleri", İTÜ Makine Fakültesi.
- Altintas, Y. ve Ko, J.H. (2006), "Chatter Stability of Plunge Milling", *Annals of the CIRP* Vol. 55/1/2006, Vancouver/Canada.
- Altintas, Y. ve Weck, M. (2004), "Chatter Stability in Metal Cutting and Grinding," *CIRP Ann.*, 53.
- Apaydın, Hasan (1994), CNC nümerik kontrollü takım tezgâhları ve programlanması, Birsen Yayınevi, .
- Atabey, F., Lazoglu, I., ve Altintas, Y. (2002), "Mechanics of Boring Processes: Part II-Multi-insert Boring Heads," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*
- Bobrow, S.E. (1985), "NC Machine Tool Path Generation from CSG Part Representations," *Computer-Aided Design*, Vol. 17, No. 2, pp 69-76.
- Broomhead, P. ve Edkins, M. (1986), "Generating NC Data at the Machine Tool for the Manufacture of Free-Form Surface," *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 24, No. 1, pp 1-14.
- Budak, E. ve Altintas, Y. (1998), "Analytical Prediction of Chatter Stability Conditions for Multi-Degree of Systems in Milling. Part I: Modelling".
- Cavendish, J.C., ve Marin, S.P. (1992), "Feature-Based Surface Design and Machining," *IEEE Computer Graphics Application*, pp 61-68.
- Chang, T.C., Richard, AW ve Wang H:S. (2006), "Computer-Aided Manufacturing", Pearson Prentice Hall.
- Choi, B. ve Jun, C. (1989), "Ball-End Cutter Interference Avoidance in NC Machining of Sculptured Surfaces," *Computer-Aided Design*, Vol. 21, No. 6, pp 371- 378.
- Davies, M., Pratt, J.R., Dutterer, B., ve Burns, T. J., (2000), "The Stability of Low Radial Immersion Milling," *CIRP Ann.*, 49□1□, pp. 37–40.
- DeVor, R., Kapoor, S., Fu, H. ve Subbarao, P. 1983, "Effect of Variable Chip Load on Machining Performance in Face Milling."
- Dragomatz,D. (1995), "Numerical control tool path generation using space-filling curves and pixel modes. Master's thesis, University of Waterloo, Canada.
- Elber, G. ve Cohen, E. (1994), "Toolpath Generation for Freeform Surface Models," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 6.
- Elber, G., Cohen, E. ve Drake S. (2004), "MATHSM: medial axis transform toward high speed machining of pockets", *Computer Aided Design* 37: 241–250.
- Ersoyoğlu, Ali . ve Ünüvar, Ali (2001), "CAD/CAM Sistemlerinde Takım Yolu Oluşturma Teknikleri", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Konya Şubesi, Makine Tarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, 295-308.
- Fetvacı, M., Erdem, C. (2008), "Mathematical Modelling and Cutting Simulation of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth", *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 329-337.

- Gaal, B., ve Varady, T. (1981), "Experiences and Further Development of the FFS(Free-Form Shapes) CAD/CAM System," *Robot. & Comput. Integrated Manuf.*, Vol 2, No. 2, pp 186-197.
- Held, M., Lukacs, G., ve Andor, L. (1994), "Pocket Machining Based on Contour- Parallel Tool Paths Generated by Means of Proximity Maps," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp 189-203.
- Huang, Y., ve Oliver, J.H. (1995), "Integrated Simulation, Error Assessment, and Tool Path Correction for Five-Axis NC Milling," *Journal of Manufacturing Systems*, 1995, Vol. 14, No. 5, pp 331-344.
- Hwang, S., (1992), "Interference-Free Tool-Path Generation in the NC Machining of Parametric Compound Surfaces," *Computer-aided Design*, Vol. 24, No. 12, pp 667-676.
- Insberger, T. ve Stepan, G. (2000), "Stability of the Milling Process," *Period. Polytech., Mech. Eng.-Masinostr.*, pp. 47–57.
- Kardes, N. ve Altintas, Y. (2004), "Prediction of cutting forces in circular milling in: Third International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, 1-5.
- Ko, J.H., (2007), "Dynamics and Stability of Plunge Milling Operations", 32-40, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 129, February 2007.
- Lee, S., ve Chang, T. (1995), "2-Phase Approach to Global Tool Interference Avoidance in 5-Axis Machining," *Computer-Aided Design*, Vol. 27, No. 10, pp 715-729.
- Li, S. ve Jerard R. (1994), "5-azis machining of sculptured surfaces with a flat-end cutter," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp 165-178.
- Li, Y., S. Y., Petrof, R. ve Seth, B. (2004), Force Modelling for Cylindrical Plunge Cutting," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 16. 863–870.
- Loney, G. C. ve Ozsoy, T. M. (1987), 'NC Machining of Free-Form Surfaces,' *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 2, pp 85-90.
- Marshall, S. ve Griffiths, J.G. (1994), "A new cutter-path topology for milling machines. *Computer Aided Design*, 1994, Vol 26 (3), pp 204-214.
- Minis, I. ve Yanushevsky, T. (1993), "A New Theoretical Approach for the Prediction of Machine Tool Chatter in Milling,".
- Montgomery, D. and Altintas, Y. (1991), "Mechanism of Cutting Force and Surface Generation in Dynamic Milling".
- Onut, S. (1999), CAD/CAM Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Otkur, M. ve Lazoglu, I. (2006), "Trochoidal milling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47 (2007) 1324–1332.
- Persson, H. (1978), 'NC Machining of Arbitrarily Shaped Pockets,' *Computer-Aided Design*, Vol. 10, No. 3, pp 169-174.
- Rauch, M. ve Hascoet, J.Y. (2007), "Rough pocket milling with trochoidal and plunging", *Int. J. Machining and Machinability of Materials*, Vol. 2, No. 2, 2007

- Rauch, M., Duc, E. Ve Hascoet, J.Y. (2008), "Improving trochoidal toolpaths generation and implementation using process constraints modelling"
- Shunsuke, W., Yasuo, Y., ve Norihiko, N. (2002), "High-speed and high-accuracy plunge cutting for vertical walls", *Journal of Materials Processing Technology* 127 (2002) 246–250.
- Suh, Y.S. ve Lee. K. (1990), "NC Milling Tool Path Generation for Arbitrary Pockets Defined by Sculptured Surfaces," *Computer-Aided Design*, Vol. 22, No. 5, pp 273-284.
- Suresh, I.C. ve Yang, D. (1994), "Constant Scallop-Height Machining of Free-form Surfaces," *ASME Journal Of Engineering For Industry*, Vol. 116, pp 253-259.
- Sutherland, J. ve DeVor, R. (1986), "An Improved Method for Cutting Force and Surface Error Prediction in Flexible End Milling Systems," *ASME J. Eng. Ind.*, 108, pp. 269–279.
- Tobias, S. ve Fiswick, W. (1958), *Theory of Regenerative Machine Tool Chatter*, Engineering, London, p. 258.
- Thusty, J., ve Ismail, F., (1981), "Basic Nonlinearity in Machining Chatter," *CIRP Ann.*, 30, 21–25.
- Thusty, J. ve Polacek, M. (1957), "Beispiele der behandlung der selbsterregten Schwingung der Werkzeugmaschinen," *FoKoMa*, Hanser Verlag, Munchen.
- Tseng, J. ve Sue R. (1999), "Machining of free-form solids using an octme volume decomposition approach," *International Journal of Production Research*, Vol 37(1),pp 49-72.
- Wakaoka, S., Yamane Y., Sekiya K. ve Narutaki N. (2002), "High-Speed and High-Accuracy Plunge Cutting for Vertical Walls," *J. Mater. Process. Technol.*, 127, 246–250.

INTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.mmsonline.com
- [2] www.sciencedirect.com
- [3] <http://help.onecnc.net/>
- [4] www.prospectornc.com
- [5] www.productionmachining.com
- [6] www.cagcadcam.com
- [7] www.turkcadcam.net

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.08.1977

Doğum yeri Kalkandere / RİZE

Lise 1990-1993 Rize Fener Lisesi

Lisans 1997-2001 Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2001-2003 Boyut Mühendislik Ltd. Şti., Proje Mühendisi
2007-2008 TEKSER AŞ, Proje Mühendisi
2008-2009 PİMSA AŞ, Üretim Mühendisi
2009-Devam ediyor Siemens AŞ, Teknik Destek Mühendisi