

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SONSUZ VİDANIN CNC TORNA TEZGAHINDA
İMALATI**

A.Kerim YAPICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ
2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SONSUZ VİDANIN CNC TORNA TEZGAHINDA İMALATI

Abdülkerim YAPICI

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Vedat SAVAS

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenciliğim süresi boyunca bir çok deneyim kazanmama vesile olan danışman hocam sayın Doç. Dr. **Vedat SAVAS**'a, bana desteklerini esirgemeyen sayın Arş.Gör. Çetin Özay'a, Sayın Arş. Gör. Engin ÜNAL'a ve Öğretim görevlisi sayın Faruk KARACA'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	VI
SİMGELER	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. TEMEL CNC PROGRAMLAMA	5
2.1. Programlama İlkeleri	5
2.2. Program yapısı	5
2.2.1. Hazırlık fonksiyonları (G-Kodları)	6
2.2.2. Yardımcı fonksiyonlar (M – Kodları)	8
2.3. Temel Programlama Örnekleri	9
2.3.1. G00 (Hızlı Hareket)	9
2.3.2. G 01 (Lineer Enterpolasyon)	10
2.3.3. G02 ve G03 (Dairesel Enterpolasyon)	11
2.3.4 G32 (Vida Açma Komutu)	11
3. ENTERPOLASYON	17
4. DİŞLİ ÇARKLAR	19
4.1. Evolvent Eğrisi Çizimi	20
4.2 Evolvent Fonksiyonu İle Dış Büyüklüklerinin Hesabı	21
4.2.1. Dış Ucu Sınırı	23
4.2.2 Herhangi bir (r_b) yarıçapında (s_b) dış kalınlığı	24
5. DİŞLİ ÇARK ÇEŞİTLERİ ve DİŞLİ ÇİFTLERİNİN BİRBİRLERİ İLE ÇALIŞMA KONUMLARI	25
5.1. Helisel Alın Dişlileri	26
5.1.1. Tarifi	26
5.1.2. Ana Büyüklükler	27
5.1.3. Sınır Dış Sayısı Ve Profil Kaydırma İle Alt Kesilmenin Önlenmesi	28
5.1.4. Hakiki Ve Teorik (İmalat) Dış Sayıları	29
5.1.5. Kavrama Oranı	30
5.1.6. Mukavemet Hesapları	31
5.1.7. Konstrüksiyon Durumu	32
5.2. Konik Dişli Çarklar	33
5.2.1. Konik Dişli Geometrisi	33
5.2.2. Oktoid Eğrisi	36
5.2.3. Helisel Konik Dişli Çarklar	38
5.3 Vida Dişliler	41
5.3.1 Tarif	41
5.4. Sonsuz Vida Dişli Grupları	45
5.4.1. Tarif	45
5.4.2. Geometrik Büyüklükler	46

6. SONSUZ VİDA İMALAT METODLARI	49
6.1. Düz Kenarlı Sonsuz Vidaların İmalatı	49
6.2. Modül Çakı Ve Azdırma İle Sonsuz Vidaların İmalatı	50
6.3. Evolvent Profilli Parmak Frezeler İle Sonsuz Vidaların İmalatı	51
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	61
7.1 Diş Profilinin Parametrik Denklemlerinin Türetilmesi	61
7.2 Deney Düzenekinin Hazırlanması	67
8. SONUÇLAR	72
9. KAYNAKLAR	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1. G00 (Hızlı Hareket) ve G01 Lineer Enterpolasyon	10
Şekil 2.2. G02 ve G03 (Dairesel Enterpolasyon)	11
Şekil 2.3 Vida Açma	12
Şekil 2.4 Vida açma başlangıç ve bitiş noktaları	13
Şekil 2.5 Vida açma örneği	14
Şekil 2.6. Konik vida açıları	15
Şekil 2.7 Konik vida açma örneği	15
Şekil 3.1. Doğrusal (a),dairesele (b,c) ve parabolik (d)	18
Şekil 4.1. Evolvent eğrisi çizimi	20
Şekil 4.2 Evolvent pratik çizimi	21
Şekil 4.3 Evolvent fonksiyonunun tanımlanması;	22
Şekil 4.4 Diş üstü sınırı	23
Şekil 5.1 Dişli çark çeşitleri ve birbirleri ile çalışma konumları	26
Şekil 5.2 Helisel Alın Dişlisinin Meydana Gelişi ve Ana Büyükler	27
Şekil 5.3 Helisel dişli çarkda normal kesit ve büyüklükler	29
Şekil 5.4 Eğim açısı	30
Şekil 5.5 Evolvent vida alın profil evolventi	31
Şekil 5.6 Çift, simetrik eğik dişli durumu	32
Şekil 5.7 a) Diş kalınlıkları eşit,eğim açıları farklı dişler b) Kalınlıkta bombeli dişler	32
Şekil 5.8 Konik dişli taslaklarının yuvarlanma düzlemleri	33
Şekil 5.9 Küre Evolventi	34
Şekil 5.10 Plân çarkı, referans dişlisi olarak konik dişlilerin çalışması	34
Şekil 5.11 Oktoid eğrisinin meydana gelişi.....	36
Şekil 5.12 Kesici bıçak ve diş, yanak eğrileri	38
Şekil 5.13 Helisel konik dişli çarkın meydana gelişi	38
Şekil 5.14 Diş eğrilik biçimleri	39
Şekil 5.15 Spiral kavisli plan çarkın imalatı	40
Şekil 5.16 Eğik dişlilerin kramayer referans düzlem dişlisine göre mukayesesi	41
Şekil 5.17 Eğik dişlerde $\delta_A = 90^\circ$ için g_s kavrama boyu en küçük diş genişliği b_{min}	43
Şekil 5.18 Eğik dişlerde b_1 ve b_2 genişliklerinin tespiti	44

Şekil 5.19 Sonsuz vida diş şekilleri Dın 3975' e göre	45
Şekil 5.20 Sonsuz vida dişli çark grubunda geometrik büyüklükler ve hız durumu..	48
Şekil 6.1 Düz kenarlı sonsuz vidaların imalatı.....	49
Şekil 6.2 Modul Çakı ve Planya Tezgahında Sonsuz Vida İmalatı.....	50
Şekil 6.3 Evolvent Profilli Parmak Frezeler.....	51
Şekil 7.1. Dönüşüm Koordinat Sistemleri	60
Şekil 7.2 Gerçek ve sanal evolvent profilleri	61
Şekil 7.3. Gerçek ve Sanal Evolvent Profilleri	62
Şekil 7.4 sanal ve gerçek evolvent yüzeyleri	63
Şekil 7.5 Bir Diş Profilinde sağ ve sol evolvent profilleri	63
Şekil 7.6 Diş dibi sikloid eğrisinin oluşturulması	64
Şekil.7.7 Bir Diş Profilinin 2 Boyutlu CAD Modeli	65
Şekil 7.8 Freze tezgahı eksenleri	65
Şekil 7.9 Torna Tezgahı Eksenleri	65
Şekil 7.10 CNC Simulator programında bir diş profilinin elde edilmesi	67
Şekil 7.11 Keski kaleminin konumu	68
Şekil 7.12 Katerin Gösterimi	67
Şekil 7.13 Kalem açısının gösterimi	67
Şekil 7.14 Sonsuz Vida Dişlisinin CNC kodlarının türetimi için gerekli akış Diyagramı	68
Şekil 7.15 Sonsuz Vida Dişli Çarkı Taslağının Hazırlanması.....	69
Şekil 7.16 Sonsuz Vida Dişli Çarkında Diş Boşluğunun Boşaltılması.....	70
Şekil 7.17 Sonsuz Vida Dişli Çarkı Sağ Evolvent profilinin İşlenmesi.....	70
Şekil 7.18 Sonsuz Vida Dişli Çarkı Sol Evolvent profilinin İşlenmesi.....	71
Şekil 7.19 Sonsuz Vida Dişli Çarkı.....	71

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1. G kodları	6
Tablo 2.2. M Kodları	8
Tablo 4.1. düz dişli çarkların boyutlandırılması	21
Tablo 6.1 Modül freze çakısı grupları	51
Tablo 7.1 Hassasiyete bağlı işleme zamanları	70

KISALTMALAR

Z : Diş sayısı	(-)
m : Modül	(-)
α_0 : Kavrama açısı	(°)
y : Diş yükseklik faktörü	(-)
i : Hız oranı	(-)
v : Profil kaydırma miktarı	(-)
t_0 : Hatve	(-)
r_0 : Bölüm çemberi yarıçapı	(mm)
r_t : Temel çember yarıçapı	(mm)
$r_{üv}$: Diş başı çember yarıçapı	(mm)
r_{dv} : Diş dip çember yarıçapı	(mm)
a_0 : Merkezler arası	(mm)
$ev\alpha$: Evolvent fonksiyonu	(-)
$\alpha_{üs}$:Evolvent diş ucu sınırı kavrama açısı	(°)
Ψ : Kutup açısı	(°)
s_b : Anlık diş kalınlığı	(mm)
β_0 : Yuvarlanma açısı	(°)
m_n : Normal modül	(-)
F_u : Çevre kuvveti	(N)
γ_{0l} : Vida eğim açısı	(°)
m_{a1} : Vida eksen modülü	(mm)
H_1 :Vida hatvesi	(mm)
γ_g : Temel çember diş eğim açısı	(°)
L : Vida boyu	(mm)
w_1 / w_2 : Dişli açısal hızları	(rad/s)
r_2 : Anlık evolvent yarıçapı	(mm)
ϕ : Anlık evolvent oluşum açısı	(°)
ϕ_{max} : Evolvent oluşum açısı	(°)

ÖZET

SONSUZ VİDANIN CNC TORNA TEZGAHINDA İMALATI YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkerim YAPICI

Fırat üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2009, Sayfa : 75

Paralel olmayan millerden hareket ve güç iletilmesinde sonsuz vida kullanılmaktadır. Bu aslında bir vidaya benzeyen, genellikle paralel helis bir karşılık dişlisi ile birlikte çalışan dişlidir. Sonsuz vidalar dişli kutularında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. düz dişliler ile karşılaştırıldığında yüksek çevrim oranlarında daha küçük boyutlara sahiplerdir. Bu dişli sistemlerinin diğer bir özelliği de kendi kendilerini tek yönlü kilitleyebilmesidir.

Bu dişli çarklar klasik olarak imal edilebilmektedir. Ancak bu durumda imalat süreleri oldukça büyümekte ve maliyet artmaktadır.

Bu çalışmada CNC torna tezgahında, uygun bir analiz ve dönüşüm programı kullanılarak CNC torna tezgahında sonsuz vida dişlisinin imalatı araştırılmaktadır. Bu çalışma, sonsuz vida dişlilerinin CNC torna tezgâhlarında imalatı için MATLAB programlama dili kullanılarak CAM kodlarının otomatik olarak elde edilmesi için amaçlandı. Bunun için sonsuz dişlilerin temel büyüklüklerine göre bir MATLAB programı hazırlandı. MATLAB programlama ile CAD modeli oluşturuldu. Bu CAD modeli ile CAM kodları elde edildi. Elde edilen CAM kodlarının doğruluğunu kontrol etmek için sonsuz vidanın CNC Simulator programında simülasyonu yapıldı. Bu CNC programı Fanuk 0Mt torna tezgâhına yüklenerek sonsuz vida imal edildi.

Anahtar Kelimeler : CNC torna, MATLAB Program, Sonsuz Vida

ABSTRACT

Master Thesis

MANUFACTURING OF WORM GEAR IN CNC LATHE MACHINE

Abdülkerim YAPICI

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

2009, Page : 67

Worm gear has been used to transmit motion and power in skewed axis. This is a gear that resembles a screw, with parallel helical teeth, and mates with a normal spur gear. The worm is in most cases the driving gear, there are however a few exceptions where the spur gear drives the worm. The worm gear can achieve a higher gear ratio than spur gears of a comparable size. Designed properly, a built in safety feature can be obtained: This gear style will self-lock if power is lost to the drive (worm). It doesn't work if the pinion is powered.

Worm gears usually have been produced by conventional milling machine, however, these processes have increased manufacturing costs and timing.

In this study, we have investigated machinability for worm gear in CNC lathe machine by using analysis process and a program being changed. This study, it was aimed to derive CAM codes automatically using MATLAB programme language for manufacturing of worm gear in CNC lathe machines. Because of this, a MATLAB programme was prepared according to main magnitudes of worm gear. Worm gear was obtained CAD model by using MATLAB programming. The CAM codes obtained by this CAD form. To control the accuracy of CAM codes, worm gear was simulated in CNC Simulator programme. After this, the programme was loaded to Fanuc lathe machine and the worm gear was produced and study was completed.

Keywords: CNC Lathe, Worm Gear, Matlab Program

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak birçok uygulama alanlarında kullanılan makine parçalarının üretimi önem kazanmıştır. Geleneksel takım tezgahlarıyla bu beklentilere uygun parça üretimi, bu yöntemlerdeki eksiklikler nedeniyle oldukça sınırlıdır. Özellikle havacılık, uzay, otomotiv, kimya, elektrik, elektroteknik, bilgisayar vb. alanlarda gereksinim duyulan kompleks şekilli parçaların hassas bir şekilde işlenmesi gerekmektedir.

İlk olarak II. Dünya Savaşı'ndan sonra A.B.D. hava kuvvetlerinin ihtiyaçlarını karşılamak için ortaya atılan nümerik kontrol fikri 1980'li yıllardan sonra daha da gelişerek yerini bilgisayarlı nümerik kontrole bırakmıştır. Fakat bu tezgahlarda da ürün geometrisi sadece lineer ve dairesel enterpolasyonlarla yapılabilmektedir. Yüzey geometrisi iki veya üç boyutlu olan malzemelerin işlenmesi oldukça zor ve karmaşık bir program gerektirmektedir. Yüzeyleri matematiksel bir ifadeyle tanımlanan ve kullanım yerine göre oldukça büyük hassasiyet gerektiren düşük yüzey pürüzlülüğü ve yüksek yüzey tamlığı isteyen parçalar, sınırlı enterpolasyonlarla oldukça yüksek döngülerde ve talaş derinliklerinde isteğe uygun olarak işlenememektedirler. Bu problemin üstesinden gelmek için makro programlar kullanılmaktadır.

Makro programlar, alt programlar gibi belirli bir işlem sıralaması şeklinde çalışmaktadırlar. Ancak alt programlardan farklı olarak makrolar ile programlamada çeşitli değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenlere göre işlem sıralaması tanımlanır. Daha sonra bu değişkenlere değer verilerek çeşitli programlar da kullanılabilir.

Makro değişkenler, # işareti ile birlikte kullanılan tezgahın değer aralığındaki sayılar ile kullanılırlar.

Yüksek hızlarda kayıpsız güç iletimi sağlayan dişli çarklar endüstride büyük yer tutmaktadır. Bilindiği gibi düz dişli çarklar 2 şekilde imal edilir; bunlar yuvarlanma yöntemi ve form frezedir. Bu imalat yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan yuvarlanma yöntemidir. Bu imalat yöntemleri yüksek maliyette modül çakı veya azdırma çakılarıyla yapılmaktadır. Bu çakıların elde edilmesi ve bu çakılarla işlem yapılması oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu sorunu gidermek için bilgisayar programlarından faydalanıp, istenilen ölçü tamlığında düşük maliyetle bu dişli çarkların işlenmesinin önemi gittikçe artmıştır.

Bu sorunu gidermek için Çeşitli CAM programlarından faydalanılmıştır. Ancak bazı CAM programlarının program genelleştirmeye fırsat vermemesi nedeniyle programın genel amaçlı yazılması sağlanamamıştır. Bu sorunda yazılan programın sadece o dişli çark için kalmasına sebep olmuş geliştirilememiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Özek, C ve Özel, C [1] yapmış oldukları çalışmada bir dik işlem merkezli CNC freze tezgahında makro programlama yöntemi ile düz dişlilerin açılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında CNC freze tezgahlarında modülü büyük olan dişlilerin imalatlarının rahat bir şekilde yapılabileceği, modülü küçük olan dişlilerin imalatlarının parmak freze çakısının çapından dolayı, G41 ve G42 çap telafisi kodlarının sorun oluşturabileceği görülmüştür. İmal ettikleri düz dişli yüzey kalitesinin azdırma ve modül çakı ile açılan dişlilere nazaran daha hassas olduğunu belirtmişlerdir.

Özel, C ve Savaş, V [2] çalışmalarında CNC freze tezgâhında makro programlama yöntemiyle kardiod eğrisi şeklindeki bir iş parçası veya kanalın imalatını araştırmışlardır. Çalışmalarında CNC program algoritması belirlenmiş ve klasik freze tezgahlarında imalatı yapılamayan çeşitli iş parçalarının makro programlama yöntemiyle imal edilebildiği gösterilmiş, döngü için kullanılan en küçük açısal değişim miktarının yüzey kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Özel, C ve Özek, C [3] matematiksel modeli olan kardiod şekilli bir kamın imalat denklemlerini çıkartmışlardır. Bu denklemlere göre kardiod şekilli kamın tasarımı BDÜ (Bilgisayar Destekli Üretim) kodlarının türetimi için C programlama dilini kullanarak bir C programı hazırlamışlardır. Bu programdaki kodların doğruluğunu kontrol etmek için DYNA 4M CNC programında simülasyon yapmışlardır. Sonuç olarak kullanılan çakı yarı çapının ilgili denklemler de ilave edilmesi gerektiği ve kamın birlikte çalışacağı izleyici makaranın çapına göre seçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Özel, C ve Özek, C [4] bir diğer çalışmalarında dönel parabolit şeklindeki bir parçanın Fanuc işletim sisteminde makro programlama yöntemiyle hazırlanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında imalat denklemlerindeki parametrelerin hem imal edilen parçanın yüzey pürüzlülüğünü hem de imalat maliyetini önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir.

İnan, A [5] çalışmasında analitik ifadeli uzay şekillerinin bilgisayar kontrollü freze tezgahında imalatı için gerekli sayısal kontrol programının hazırlanmasını araştırmış ve örnek olarak eliptik parabolit üzerinde uygulama yapmıştır.

İnan, A [6] bir diğer çalışmasında eliptik parabolit yüzeyi üzerine makro programlama yöntemi ile matematiksel olarak bilinen elips ve parabol eğrilerini açmak için gerekli programların hazırlanmasını araştırmıştır.

Özek, C; Ünal, E ve Özek, M.B. [7] zincir dişlilerin CNC freze tezgahlarında imalatı için MATLAB programlama dili kullanılarak CAM kodlarını otomatik olarak elde edilmesi için amaçlanmıştır. Bunun için zincir dişlilerin temel büyüklüklerine göre bir MATLAB programı

hazırlanmış, diş sayısı 20 olan bir zincir dişlinin MATLAB programlama ile CAD modeli oluşturulmuştur. Bu CAD modeli ile CAM kodları elde edilerek; elde edilen CAM kodlarının doğruluğunu kontrol etmek için zincir dişlinin DYNA 4m CNC programında simülasyonu yapılmıştır. Bu CNC programı dik işleme merkezli Fanuc 0Mt freze tezgahına yükleyerek zincir dişli imalatını gerçekleştirmişlerdir.

Savaş, V ve Yapıcı, A.K. [8] Arşimet spiralinin CNC freze tezgahında imal edilebilirliği araştırılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için ilk önce Arşimet spiralinin matematiksel fonksiyonu araştırılmış daha sonra bu fonksiyondan hareketle Arşimet spiralinin CNC frezede imal edilebilmesi için takım yolu denklemleri türetilmiştir. Bu denklemler yardımıyla makro programlama ile Arşimet spiralinin Fanuc işletim sistemli ile Dyna 2900 Myte tipi freze tezgahında imalatı gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak parametrik denklemleri bilinen eğrilerin makro programlama ile imal edilebilirliği sonucuna ulaşılmıştır.

Fischer, G [9] matematiksel modeli belli olan şekiller tespit ederek bunların Part programlar ile çözümü ve CNC tezgahlarında imalatlarının yapılabilirliği üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

Faydor L. Litvin ve arkadaşları [10] düzlemsel diş eğrilerinin elde edilmesini analitik olarak göstermişlerdir. Yine bu makalede elde edilen analitik sonuçlar grafiksel olarak bilgisayar ortamında çizilmiş ve türetilen bu diş eğrisinin doğru olup olmadığının kontrolünü yapmışlardır

Fatih C. BABALIK ve arkadaşları [11] yaptıkları bu çalışmada kullanılan diş dibi kalınlığı ve diş form faktörünün yaklaşık hesabı J.Pedrero ve ark.(1999) tarafından sunulan hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Ayrıca yapılan bu çalışmada simetrik düz ve helisel dişliler için diş form faktörünün belirlenmesi amacıyla ISO tarafından sunulan model kullanılmış ve %1 den küçük hatalarla sonuca ulaşılmışlardır

Faydor L. Litvin ve arkadaşları [12] konik ve silindirik sonsuz vidalar için yeni bir geometri tanımlamışlardır. Bu yeni geometride, ses ve titreşimin azaltılması için transmisyon hatalarını belirlemişler; bu dişlinin gerilme analizi yaparak sayısal örnekleme yapılmıştır

Shuren Wang ve arkadaşları [13] toroidal diş dibi profiline sahip sonsuz vida çarkının matematiksel modelini oluşturmuşlar ve Tooth Contact Analysis (TCA) programında sonsuz vida geometrisini oluşturmuşlardır.

Pei-Yu Wang ve arkadaşları [14] spiral dişli çarkların CNC tezgahlarında imal edilebilmesi için gerekli matematiksel modellerin oluşturulmasını araştırmışlardır

Faydor L. Litvin ve arkadaşları [15] evolvent profilli ve trapez profilli iki farklı yüzeye sahip alın dişli çarkları sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizlerini analitik olarak

yapmışlar ve elde edilen sonuçları TCA (Tooth contact analysis) programında kontrol etmişlerdir.

İnan, A. Ve Özel, C [16] yaptıkları çalışmada vargel tezgahında düz konik dişli açmak için konik dişli kullanılan Matterson mekanizmasını CNC freze tezgahına bağlamışlardır. CNC freze tezgahında imalatını yapmışlar ve elde edilen sonuçları universal kalıpcı freze ve özel konik dişli açma tezgahında açılan konik dişli çarklarla karşılaştırmışlardır.

Faydor L. Litvin ve arkadaşları [17] evolvent profilli sonsuz vida dişli çarkının üç boyutlu yüzeylerinin elde edilmesini Visual Basic programında yapmışlar ve elde edilen sonuçları TCA (Tooth contact analysis) programıyla karşılaştırmışlardır.

2. TEMEL CNC PROGRAMLAMA

2.1. Programlama İlkeleri

Program bir parçanın tam olarak işlenmesi için tüm bilgileri içeren ve bunları tezgahların kontrol ünitesine giriş olarak veren bir belgedir. Bir program, satır denilen ve tek bir sıraya yazılan bir takım cümlelerden meydana gelmektedir. Her satır farklı tipte bilgi içerebilir. Genelde bir programda üç çeşit bilgi vardır.

- Takım veya parçanın konumunu yaptığı hareketin şeklini ve yönünü kapsayan geometrik bilgiler;
- Takım, ilerleme hızı ve kesme hızını içeren teknolojik bilgiler;
- Kesme hareketinin (tornada parçanın, frezede takım dönmesini) gerçekleşmesini, takım değiştirmesini, kesme sıvısının kullanılmasını içeren yardımcı bilgiler.

Genelde CNC tezgahları için program oluşturmada kullanılan birçok yöntem vardır.

Bunlar;

- ISO kod (G-kodu) sistemine dayanan elle programlama;
- APT gibi programlama dilleri;
- Grafik etkileşime dayanan CAM (Bilgisayar Destekli İmalat);
- Modele dayanan sayısal tekniği;
- Diyalog sistemi gibi yöntemlerdir.

2.2. Program yapısı

NC tezgah ve sistemlerde programlama ASCII (American Standart Code For Information Interchange) kod esasına göre oluşturulan ISO, EIA ve DIN gibi aynı içerikli kod sistemine dayanmaktadır. Bununla beraber NC kontrol üniteleri üreten firmalar arasında; yani kontrol sistemleri arasında bazı farklılıklar vardır. Türkiye’de en çok Fanuc, Heidenhain ve Sinumerik sistemler kullanılmaktadır. Fakat tüm bu sistemlerde programlama mantığı aynıdır. CNC programlamada, programlar yazılırken hazırlık kodları (G- kodları) ve yardımcı fonksiyonlar (M- kodları) kullanılmaktadır.

2.2.1. Hazırlık fonksiyonları (G-Kodları)

Hazırlık fonksiyonları, talaş kaldırma işlemi için gereken fonksiyonların tezgah kontrol birimine girilmesinde kullanılır. Örneğin; kontrol ünitesi, program içinde boyutsal olarak verilen kızak hareketlerinin, metrik veya İngiliz sisteminde mi olduğunu ve iş mili dönüş yönünün saat yönü veya saat yönünün tersine mi olduğunu bilmek zorundadır. Fonksiyonun sayısal kısmı 0'dan 99'a kadar iki dijitten oluşur. Her sayı kod şeklindedir; yani sabit bir anlam taşır. Bu anlamların çoğu ISO tarafından standart veya seçmeli olarak belirtilmiş bazıları da boş bırakılmıştır.

G- kodları genelde şu işlemler için kullanılırlar

- Hareket tipinin seçimi (G00, G01, G02, G03);
- Takım telafisi ve parça ofsetinin seçimi (G40, G41, G42, G54, G55 vb.);
- Boyutlar mm/inç; programlama mutlak/ artırımlı; kesme hızı m/dak veya dev/dak; ilerleme hızı mm/ dak veya mm/ dev gibi hususların belirtilmesi (G20, G21, G90, G91 vb.)
- Tekrarlanan işlemlerin seçimi (G70 ... G79, G80 ... G89);
- Diğer işlemler (G04, G54).

Tablo 2.1. G kodları

Kod No	Fonksiyon
G00	Noktadan noktaya hızlı konumlama
G01	Kontrollü ilerlemede konumlama
G02	Dairesel enterpolasyon (Saat yönü)
G03	Dairesel enterpolasyon (Saatin aksi yönü)
G04	Programlanmış sürede kalmak
G05	Tutma, operatör tarafından iptal
G08	Programlanmış kızak ivmelenmesi
G09	Programlanmış kızak ivmelenmesinin yavaşlaması
G10	Doğrusal enterpolasyon (Uzun boyutlar)
G11	Doğrusal enterpolasyon (Kısa boyutlar)
G12	3 D enterpolasyonu
G13-G16	Eksen seçimi
G17	XY Düzlemi seçimi
G18	ZX Düzlemi seçimi
G19	YZ Düzlemi seçimi
G20	Boyutlar inch

G21	<i>Boyutlar mm</i>
G22	<i>Pozitif bağılı hareket</i>
G23	<i>Negatif bağılı hareket</i>
G25-G29	<i>Bireysel kullanıma uygun</i>
G30	<i>Dairesel enterpolasyon saat yönü tersi (Uzun boyutlar)</i>
G31	<i>Dairesel enterpolasyon saat yönü tersi (Kısa boyutlar)</i>
G32-G33	<i>Sabit kesitli dış açma</i>
G34	<i>Artan kesitli dış açma</i>
G35	<i>Azalan kesitli dış açma</i>
G40	<i>Takım telafisi iptali</i>
G41	<i>Takım telafisi, sol</i>
G42	<i>Takım telafisi, sağ</i>
G43	<i>Takım telafisi, pozitif</i>
G44	<i>Takım telafisi, negatif</i>
G45	<i>Takım telafisi, +/+</i>
G46	<i>Takım telafisi, +/-</i>
G47	<i>Takım telafisi, -/-</i>
G48	<i>Takım telafisi, -/+</i>
G49	<i>Takım telafisi, 0/+</i>
G50	<i>Takım telafisi, 0/-</i>
G51	<i>Takım telafisi, +/0</i>
G52	<i>Takım telafisi, -/0</i>
G53	<i>Doğrusal değişimin iptali</i>
G54	<i>X'in doğrusal değişimi</i>
G55	<i>Y'nin doğrusal değişimi</i>
G56	<i>Z'nin doğrusal değişimi</i>
G57	<i>XY'nin doğrusal değişimi</i>
G58	<i>XZ'nin doğrusal değişimi</i>
G59	<i>YZ'nin doğrusal değişimi</i>
G60	<i>Tam 1. konumlama</i>
G61	<i>Tam 2. konumlama</i>
G62	<i>Hızlı konumlama</i>
G63	<i>Süratlenme</i>
G64	<i>Oran değişimi</i>
G65-G79	<i>Makro programlama</i>
G80	<i>Özel çevirimlerin iptali</i>
G81-G89	<i>Özel çevirimler</i>

G90	<i>Mutlak programlama</i>
G 91	<i>Eklemeli programlama</i>
G96	<i>Kesme hızının (S) m/dak olarak verilmesi</i>
G97	<i>Kesme hızının (S) dev/dak olarak verilmesi</i>
G98	<i>İlerleme hızının (F) mm/dak olarak verilmesi</i>
G99	<i>İlerleme hızının (F) mm/dev olarak verilmesi</i>

2.2.2. Yardımcı fonksiyonlar (M – Kodları)

M – kodları, CNC tezgah ve sistemlerinin çalışmasını kontrol eder. Bu kodun etkisi genelde aç- kapa şeklinde olur. Örneğin; iş milinin dönmesi veya durması; kesme sıvısının açılıp kapanması; programın durması vb.

Tablo 2.2. M Kodları

Kod No	Fonksiyon
M00	Program durması
M01	İsteğe bağlı durma
M02	Program sonu
M03	Saat yönünde iş mili çalışıyor
M04	Saat tersi yönünde iş mili çalışıyor
M05	Tezgah mili çalışmıyor
M06	Takım değişimi
M07	2. soğutma sıvısı açık
M08	1. soğutma sıvısı açık
M09	Soğutma sıvısı kapalı
M10	Kızağın bağlanması
M11	Kızağın çözülmesi
M13	Saat yönünde iş mili çalışıyor, soğutucu açık
M14	Saat tersi yönünde iş mili çalışıyor, soğutucu açık
M15	Pozitif yönde hareket
M16	Negatif yönde hareket
M19	Yönlendirilmiş iş mili durması
M20-M29	Bireysel kullanıma uygun
M30	Program sonu
M31	By-pass ile kilitleme

M32-M35	Sabit kesme hızı
M36	1. ilerleme aralığı
M37	2. ilerleme aralığı
M38	1. Tezgah mili devir sayısı aralığı
M39	2. Tezgah mili devir sayısı aralığı
M40-M45	Dişli değişimi
M50	3. Soğutma sıvısı açık
M51	4. Soğutma sıvısı açık
M52-M54	Gelecekteki standardizasyon için rezerve
M55	Takımın doğrusal yükselmesi, pozisyon 1
M56	Takımın doğrusal yükselmesi, pozisyon 2
M60	İş parçası değişimi
M61	Doğrusal iş parçası yükselmesi, pozisyon 1
M62	Doğrusal iş parçası yükselmesi, pozisyon 2
M68	İş parçasının sabitlenmesi (Sıkılması)
M69	İş parçasının gevşetilmesi
M71	Şart komutu
M72	Dallanma komutu
M73-M74	Tekrar komutları
M78	Kızağın sıkılması (Sabitlenmesi)
M79	Kızağın gevşetilmesi
M98	Alt program çağırma
M99	Alt program sonu

2.3. Temel Programlama Örnekleri

Daha önce de belirtildiği gibi G-kodları hareketin tipini tayin eder ve nümerik sistemi işlem için hazırlar. Bu nedenle bunlara hazırlık (preparatory) fonksiyonları da denilir. En çok kullanılan G-kodları aşağıda verilmiştir.

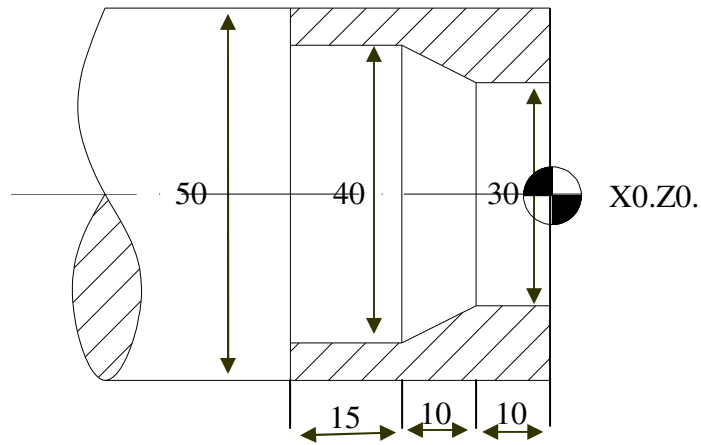
2.3.1. G00 (Hızlı Hareket)

C.N.C. takım tezgahlarında kesici aletin, belirlenen bir adresteki noktaya yapmış olduğu hareketin kontrolüdür. Bu harekette önemli olan adrese ulaşmaktır. Noktalar arasındaki hareket maksimum hızda (500 mm/dak.) yapılır. Bu nedenle kesinlikle kesici takım iş parçası ile temas etmemeli ve talaş kaldırmamalıdır. Noktasal kumandaya, noktadan noktaya kontrol de denir. ISO programlama dilinde G0 veya G00 komutu ile tanımlanır.

2.3.2. G 01 (Lineer Enterpolasyon)

G 01 X_.Z_.F_; Lineer enterpolasyon (Kesicinin talaş kaldırarak hareketi); kesici takımın belirlenen bir adrese yapmış olduğu hareketin kontrolüdür. Doğrusal enterpolasyon olarak bilinir (Doğrusal Kumanda). Noktadan noktaya kontrolden farkı, kesici başlangıçtan hedef noktaya temas halindedir. Bu nedenle kesici takıma programcı tarafından belirlenen ilerleme hızında (F[mm/dak]) hareketi yaptırılır.

Bu kontrol ISO programlama dilinde G01 veya G1 komutu ile tanımlanır. NC programlamada bu komut girildiğinde kesinlikle F ilerleme değeri de belirlenmelidir. Aksi halde tezgah hata mesajı verir. Eğer bir NC programı içerisinde verilebilecek olan ilerleme değerleri aynı ise başlangıçta bir kez tanıtmak yeterlidir. Bu komut modal özellikte olduğu için yeni bir değer girilinceye kadar daha önce girilmiş olan ilerleme değerleri geçerlidir.



Şekil 2.1. G00 (Hızlı Hareket) ve G01 Lineer Enterpolasyon

N10 O0001;

N20 G00 X100. Z100. ;

N30 M03 S800;

N40 G00 X30. Z1.;

N50 G01 X30. Z0. F0.5;

N60 G01 X30. Z-10. F0.5;

N70 G01 X40. Z-20. F0.5;

N80 G01 X40. Z-35. F0.5;

N90 G01 X60.;

N110 G28;

N120 M30;

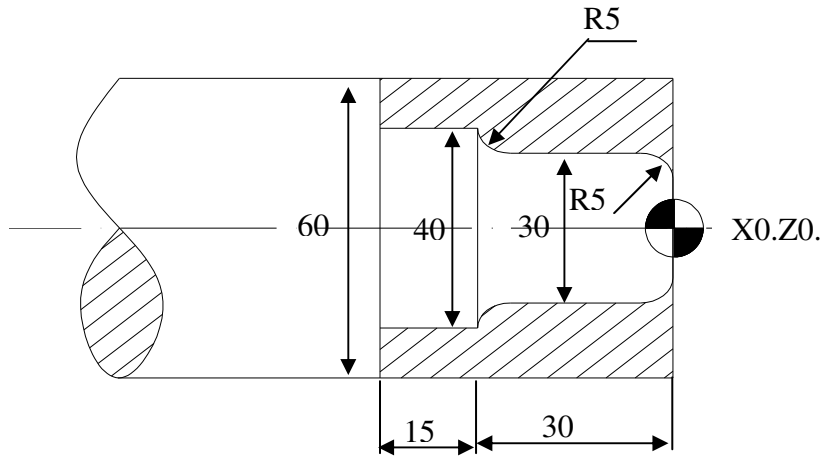
2.3.3. G02 ve G03 (Dairesel Enterpolasyon)

2.3.3. G02 X_.Z_.R_.F_; ve G03 X_.Z_.R_.F_;

G02:Saatin ibresi yönünde dönme ((CW) yönünde daireysel hareket)

G03:Saatin ibresinin aksi yönünde dönme ((CCW) daireysel hareket).

Bu komutlarda da hareket boyunca kesicinin sürekli iş parçası ile teması yani talaş kaldırması söz konusudur. Hareket aynı anda iki eksen üzerinde yapılır. Her eksen için ayrı ilerleme hızları verilebilir. Bir iş parçası üzerinde doğrusal yada eğrisel hareket kontrolü birlikte bulunabilir. Operasyon esnasında hareketler arası geçişlerde süreklilik vardır.



Şekil 2.2. G02 ve G03 (Dairesel Enterpolasyon)

N10 O003;

N20 G00 X100. Z100.;

N30 T0303;

N40 M03 S800;

N50 G00 X0. Z1.;

N60 G01 X0. Z0. F0.5;

N70 G01 X25. Z0.;

N80 G03 X30. Z-5. R5.;

N90 G01 X30. Z-20.;

N100 G02 X40. Z-30. R5.;

N110 G01 X40. Z-45.;

N120 G01 X65.;

N130 G00 X100. Z100.;

N140 G28;

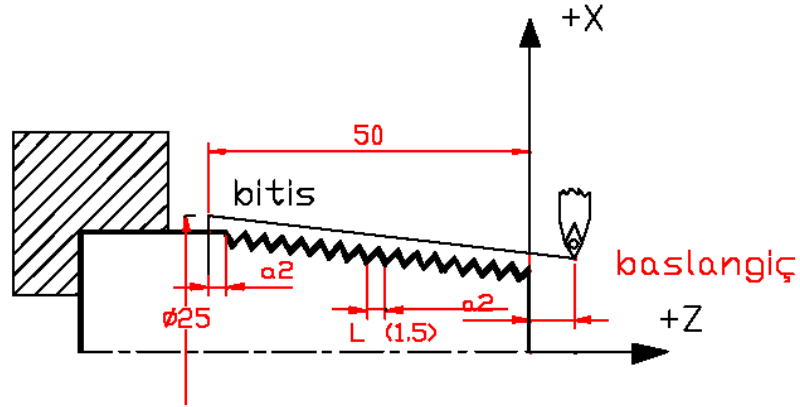
N150 M30;

2.3.4 G32 (Vida Açma Komutu)

Düz, konik v.b. vidalar G32 komutu ile kolaylıkla açılabilir. G32 komutu kullanılmak suretiyle aynanın dönme devri fener mili motoruna monte edilen pozisyon kodlayıcı vasıtasıyla

ölçülerek bu devreye uygun olarak G32 komutunda F ile belirtilen hatve miktarı kadar tezgah her bir devirde ayna devri ile eş zamanlı olarak hareket eder. Ayna bir devir yaptığında kızak diş hatvesi kadar ilerler ve bu şekilde diş açma işlemi yapılır. Dis açma komutu verildiği zaman ilerleme miktarı (F), ilerleme değiştirme (FEEDRATE OVERRIDE %) ile değiştirilemez. Değiştirilse idi ilerleme farklı olacağından dolayı diş hatvesi uygun olmayacaktı. Diş açma esnasında sabit devir kullanılır.

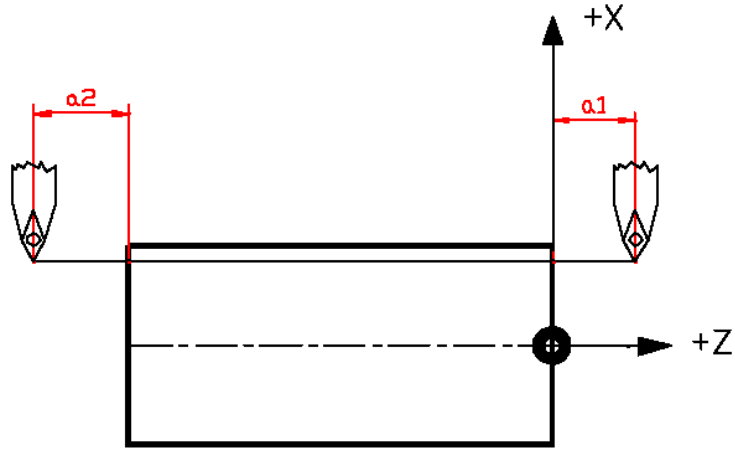
Diş Açma Örneği:



Şekil 2.3 Vida Açma

G32 X25. Z-50. F1.5 ;

komutu ile yukarıda şekli verilen diş çekilebilir. Burada F ile diş hatvesi (ADIM) verilmektedir ve devir başına mm cinsinden ilerleme şeklinde belirtilir. Genel olarak servo sistemdeki gecikmeden dolayı açılan dişin başlangıç ve bitiş noktalarında doğru olmayan adım değerleri oluşabilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için programda kullanılacak diş boyu gerçek diş boyundan bir miktar uzun olarak belirtilir. Bu uzunluk miktarı diş başlangıcı ve bitiş kısımlarında sırası ile a_1 ve a_2 şeklinde belirtilir. Bu değerler aşağıda açılacak bir diş kısmı için gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Vida açma başlangıç ve bitiş noktaları

Diş açma esnasında takım dişin başlangıç noktasından a_1 kadar geride ve dişin bitiş noktasından a_2 kadar ileride kalacak şekilde diş boyu belirtilir. Böylelikle diş başında ve diş bitiminde hatvede olabilecek sapmalar telafi edilmiş olur. a_1 ve a_2 değerleri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanırlar.

$$a_2 = (L \times R) / 1800 \text{ mm}$$

Burada L : Diş adımı (mm)

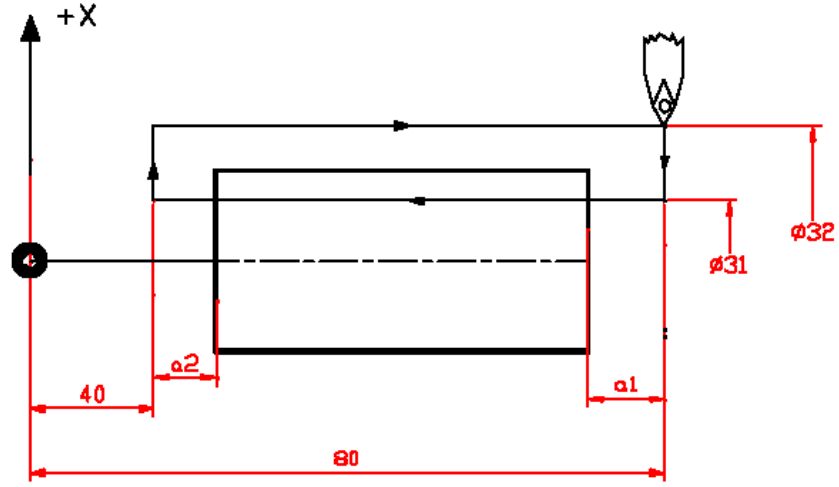
R : Ayna Devri (dev/dak)

$$a_1 = s_2 \times (-1 - \ln(a)) \text{ (mm)}$$

Burada **a**: adım toleransı şeklinde belirtilir.

- **1 - ln(a)** değeri matematiksel bir ifadedir ve çeşitli a değerleri için aşağıdaki tabloda verilen sonuçları verir:

a	-1 - ln(a)
0.005	4.298
0.01	3.605
0.015	3.200
0.02	2.912



Şekil 2.5 Vida açma örneği

Yukarıda operasyon listesi verilen parçada diş açma işlemi:

Adım 4 mm; $a_1=3$ mm ; $a_2 = 1.5$ mm

değerleri için

...

...

T0202;

G97 S800 M3;

G0 X32. Z80. ;

X31. ;

G32 Z40. F4.0;

G0 X32. ;

Z80. ;

G32 Z40. F4.0 ;

G0 X32. ;

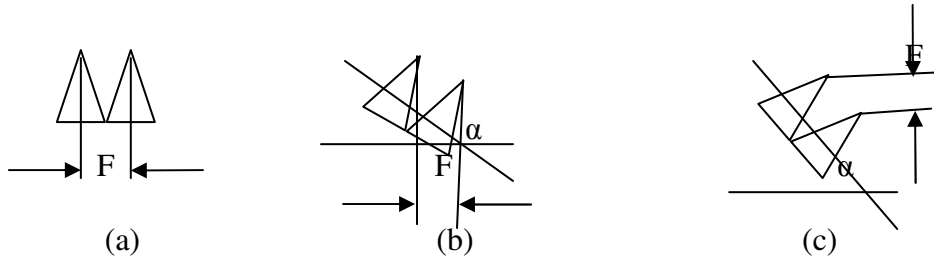
Z80. ;

X150. Z200. ;

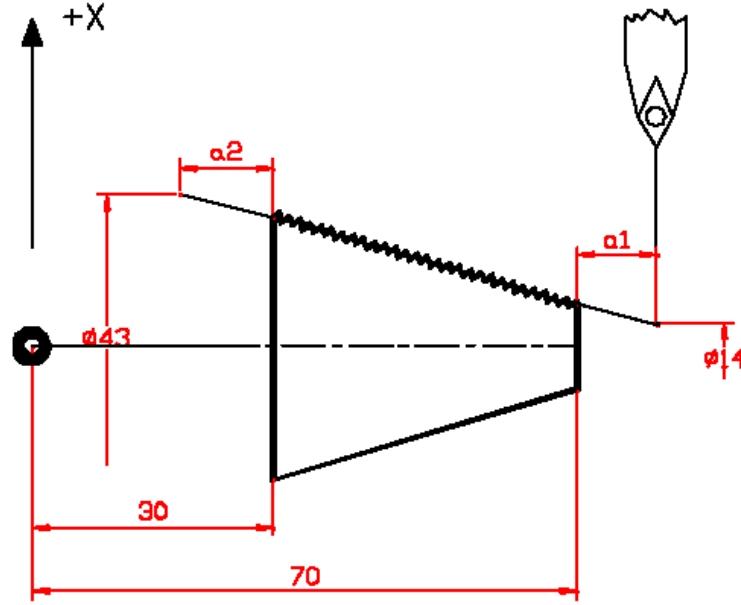
...

...

Konik diş açma durumunda adım değeri koni açısı $\alpha \leq 45^\circ$ olan vidalar için hatvenin Z eksenine göre izdüşümü (Şekil 2.6 b); $\alpha \geq 45^\circ$ olduğu durumda X eksenindeki izdüşüm değeri (Şekil 2.6 c) olarak belirtilir. Aşağıda konik diş açma işlemi için işlem resmi verilen parçada diş açma kodunun nasıl kullanılabileceğine dair bir örnek verilmektedir.



Şekil 2.6. Konik vida açılı



Şekil 2.7 Konik vida açma örneği

Adım 3.5 mm

$a1 = 2 \text{ mm}$

$a2 = 1 \text{ mm}$

her bir adımda 1 mm (genelde büyük bir değer) talaş alınacağı kabulü ile iki kademelik bir dış kaldırma programı:

...

G97 S800 M3;

T0303 ;

G0 X12. Z72.0 ;

G32 X41.0 Z29.0 F3.5 ;

G0 X50.0 ;

Z72.0 ;

X10.0 ;

G32 X39.0 Z29.0 F3.5 ;

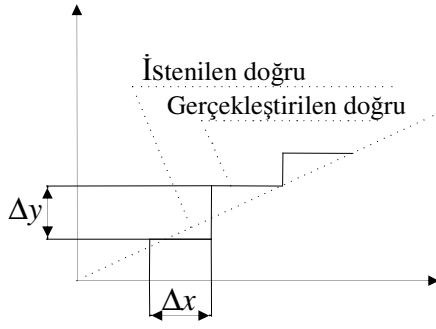
G0 X50.0 ;

Z72.0 ;

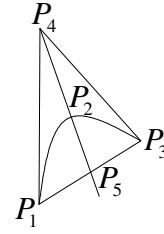
3. ENTERPOLASYON

NC tezgahlarında takımın sadece X ve Y yönlerinde hareketi kontrol edilebilir. Dolayısıyla takım sadece X ve Y koordinat eksenlerine paralel olarak işlem yapabilir. Bu durumda eğik yada eğrisel bir yüzeyin işlenebilmesi için takıma Δx değerinde X eksenine paralel ve sonra Δy değerinde Y eksenine paralel olarak çok küçük bir hareket verilir ve işlem yüzey boyunca bu şekilde devam eder. Yani eğik veya eğrisel yüzey n parçaya bölünür ve her parça bir Δx ve Δy hareketleri ile meydana getirilir. İşlenecek yüzey ne kadar fazla parçacıklara bölünürse, işlenen yüzeyin doğruluğu o kadar yüksek olur; şöyle ki parçacık sayısı sonsuz olduğu durumda, eğrinin ta kendisi elde edilir. Yukarıda açıklanan işleme enterpolasyon denilir. Dairesel bir yüzeyde, daireyi bölen her noktanın yarı çapında ΔR değerinde bir sapma meydana gelir; bu da enterpole edilen noktadan noktaya kümülatif hata meydana getirir. Kümülatif hataları azaltmak için uygulanan bir yöntem; daireyi oluşturan doğru parçacıklarını, enterpole edilen daire ile eşmerkezli olan iki daire arasında kalmasıdır. Hataları temsil eden bu iki daire arasındaki mesafeye tolerans (T) denilir. Tolerans ne kadar küçük olursa, tezgahın hassasiyeti o kadar daha büyük olur. Aşağıdaki şekilde parabolik bir enterpolasyon gösterilmiştir; burada parabol P1, P2, P3 olmak üzere üç nokta tarafından tayin edilir. Parabolün orta noktası olan P2 noktası; P4-P5 doğru parçasının; P5 ise P1-P3 doğru parçasının orta noktalarıdır. P1 önceki satırta ve P1 ve P3 ondan sonraki iki satırda verilir. Bu noktalar verildiğinde parabol P1-P4 ve P3-P4 doğrularına teğet olarak oluşur. Parabol enterpolasyonu ancak üç veya daha çok eksene sahip tezgahlarda gerçekleştirilir (Şekil 3.1 a.b.c.d).

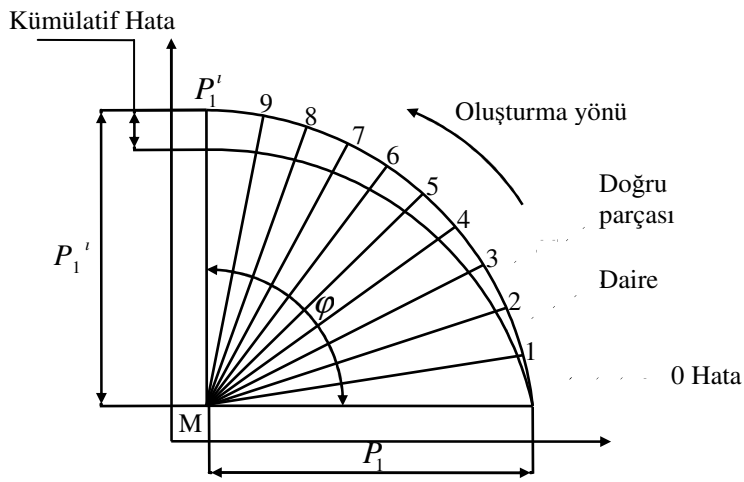
Pratikte enterpolasyon, bir çok sabit noktaların, en tatlı bir şekilde eğri veya çizgilerle birleştirilmesidir. En basit sistem, iki noktayı bir doğru ile birleştiren doğrusal enterpolasyondur. Doğrunun denklemi $y = mx$ olduğundan bu sisteme birinci derecede enterpolasyon da denilir. Doğrusal enterpolasyona göre programlanan konuma doğru hareket; tek eksen, iki veya daha çok eksen üzerinden doğrusal olarak yapılır. G01 fonksiyonu ile kodlanan bu hareket, örneğin G01 X24. Y56. veya G01 X45. Y-23. Z10. şeklinde programlanır. Başka bir enterpolasyon, iki noktayı bir yay ile birleştiren dairesel enterpolasyondur. Dairenin denklemi $x^2 + y^2 = R^2$ olduğundan bu sisteme ikinci derece enterpolasyon denilir. Dairesel enterpolasyon için G02 (saat ibreleri yönü) ve G03 (saat ibreleri ters yönü) fonksiyonları ile programlanır. Doğrusal ve dairesel enterpolasyon günümüzde imal edilen tüm CNC tezgahlarda vardır. Bunun yanı sıra parabolik, kübik, spiral ve evolvent enterpolasyonları da vardır.



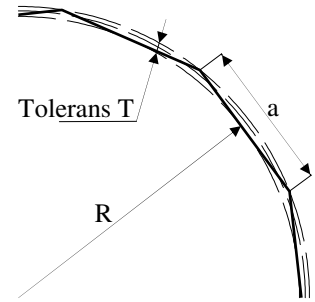
(a)



(d)



(b)



(c)

Şekil 3.1. Doğrusal (a), dairesel (b,c) ve parabolik (d)

4. DIŞLİ ÇARKLAR

Makine elemanları arasında önemli bir yeri olan dişli çarklar ,bir şafttan diğer bir şafta hareket ve kuvvet iletmekte kullanılır. En önemli faydası kasnaklarda olan kaymayı ortadan kaldırarak gücü karşı şafta iletmesidir.

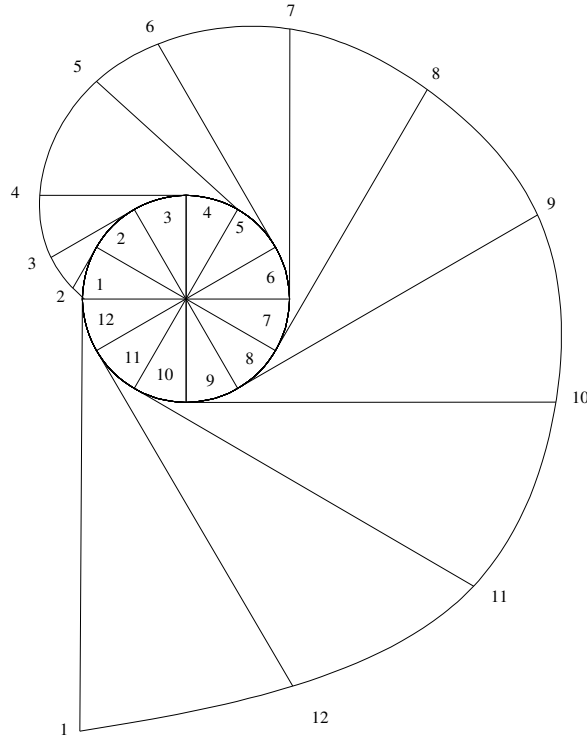
Günümüzden takriben 3000 yıl öncesine kadar dişli çark düzeneklerinden yararlanıldığı bazı arkeolojik kalıntı ve varsayımlardan anlaşılmaktadır. Bu tarihlerde daha çok büyük taş blokların taşınmasında manivela ve eğik düzlem düzenekleri kullanılmakta idi, çok primitive olmakla beraber dişli çark yöntemi de bu düzeneklerle ortaklaş kullanılmış, daha sonraları tahtadan yapılmış bu düzenekler hareket ve yük iletiminde kullanılmıştır. Bu düzeneklerde bir iş profili tabiatıyla yoktu. Ancak çarklar üzerindeki girinti ve çıkıntıların birbirlerini öteleme ile etkilediklerini görebiliriz, yine de geometrik bir büyüklük olarak çevre taksimat yani dişler arasındaki mesafe “hatve” yi zorunlu olarak görebiliriz.

Klasik çağ Avrupa’sında “Galilei Galileo”nun ve Hint, Arap yarımadalarında özellikle hareket için kullanılmış dişli çark düzenlerinde artık bir teknoloji görülebilir. Daha sonraki sanayileşme hareketlerinde, ilk maden ocaklarında geniş çapta kullanılmaya alını bulmuş ve sanayinin başlangıcı sayılabilecek buhar kuvvetinin makineye tatbiki ile gerçek teknolojisini bularak hemen hemen yaşıntımızın bir parçası olarak en geniş anlamda günümüze gelmiştir. Mekanik gücün naklinde mühendislik ve maliyet avantajlarını bir arada sunan dişli çarklar, saat mekanizmaları gibi hassas cihazlardan, otomobil ve uçak-uzay teknolojisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda mühendislik teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yüksek hızlarda çalışan ve daha fazla yük taşıyan dişli çarklara ihtiyaç artmaktadır.

Dişlilerin hareket ve kuvvet nakletmeleri, çalışma yerindeki konstrüksiyon şekillerine ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişik profillerde imal edilir. Bunlar :

- a) Düz dişliler
- b) Sonsuz vida ve karşılık dişlileri
- c) Krameyer Dişliler
- d) Helisel dişliler
- e) Ok veya “V” dişlileri
- f) Konik Dişliler
- g) Zincir Dişliler

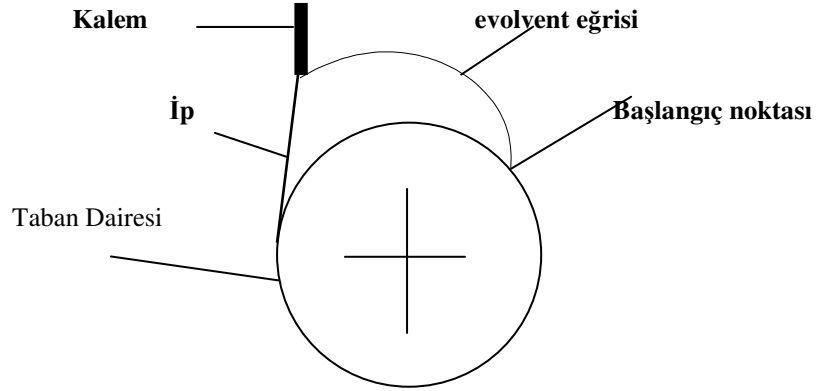
4.1. Evolvent Eğrisi Çizimi



Şekil 4.1. Evolvent eğrisi çizimi

Evolvent eğrisi bir doğrunun bir daire etrafında sarılması ile meydana gelir. Evolvent şeklinin çizilmesini (Şekil 4.1.) üzerinde açıklayalım. Taban dairesini 12 eşit parçalara bölüp;bu bölüm noktalarından daire merkezine uzatılan doğruya dik olarak teğetler çizilerek numaralanır. Taban dairesindeki başlangıç noktasından her teğetin değme noktasına kadar olan yay uzunluğu sıra ile ait olduğu teğetin üzerine pergelle taşınır. Bu suretle teğetler üzerindeki noktaların araları uygun kavislerle birleştirilince istenilen evolvent eğrisi tamamlamış olur.

Evolvent şeklinin pratik olarak çizilmesi ise (Şekil 3.2.) de görüldüğü gibi bir dairenin çevresini ip ile saralım taban dairesi olarak kabul ettiğimiz bu parçayı sabit tutarak çevresindeki ipin ucuna bir kurşun kalem bağlayalım kalemin ilk ayrıldığı noktayı başlangıç noktası olarak kabul ederek, ipin gergin bir şekilde açılmasından meydana gelen çizgide bize evolvent eğrisini vermiş olur.



Şekil 4.2 Evolvent pratik çizimi

4.2 Evolvent Fonksiyonu İle Diş Büyüklüklerinin Hesabı

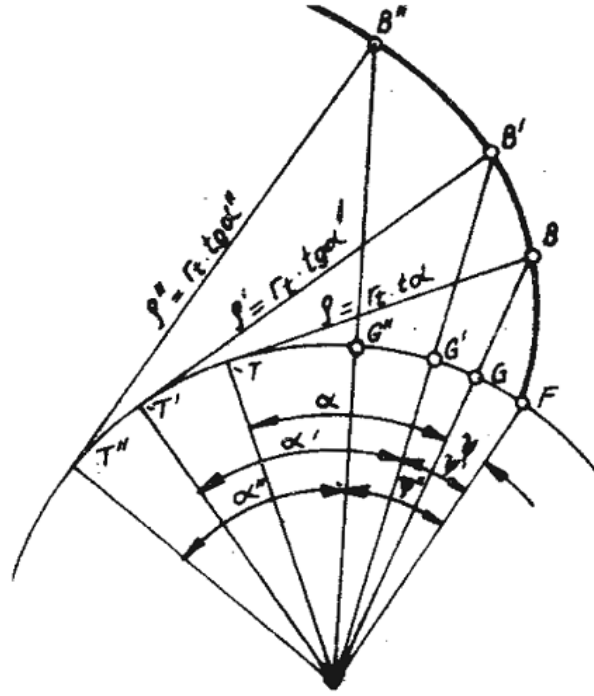
Evolvent fonksiyonu ile dişlilerinin hesaplanması, yaklaşık değerlerden çok kati neticelerin gerektirdiği yerde zorunludur. Hassas işletmelerde dişlinin diş kalınlıkları, diş boşlukları, diş ucu sınır noktaları profil kaydırmada, (V) dişlilerinde, eksen aralıkları, yanak boşlukları gibi ana büyüklüklerin yanı sıra yardımcı olarak dişlilerin kontrolünde ölçü hassasiyeti evolvent geometrisinin hesaplanması ile mümkündür.

Düz dişli çarkların ölçülendirilmesinde kullanılan temel formüller Tablo 4.1 de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. düz dişli çarkların boyutlandırılması

Büyüklük	Sembol	Formül
Diş sayısı	z	
Diş sayısı toplamı		$z_1 + z_2 = 2(r_{01} + r_{02}) / m$
Modül	m	$m = d_0 / z$
Kavrama açısı	α_0	$\cos \alpha_0 = r_t / r_0$
Diş yükseklik faktörü	y	$y = k / m$
Hız oranı	i	$i = z_2 / z_1 = r_{02} / r_{01}$
Profil kaydırma faktörü	x	$\pm x = \pm v / m$
Profil kaydırma miktarı	v	$\pm v = \pm x \cdot m$
Hatve	t_0	$t_0 = \Pi \cdot m$
Bölüm çemberi yarıçapı	r_0	$r_0 = m / 2 \cdot z$
Temel çember yarıçapı	r_t	$r_t = r_0 \cdot \cos \alpha_0$
Diş başı çember yarıçapı	$r_{üv}$	$r_{üv} = r_0 + m \pm v$
Diş dip çember yarıçapı	r_{dv}	$r_{dv} = r_0 - 1,2 \cdot m \pm v$

Merkezler arası	a_0	$a_0 = r_{01} + r_{02} = \frac{1}{2} \cdot m (z_1 + z_2)$
Diş kalınlığı	s_{zv}	$s_{zv} = t_0 / 2 \pm 2v \cdot \tan \alpha_0$
Diş boşluğu	I_{zv}	$I_{zv} = t_0 / 2 \pm 2v$



Şekil 4.3 Evolvent fonksiyonunun tanımlanması

(α) açısının “evolvent fonksiyonu (“ev α ” yazılır, “evoluta” okunur). (FB) evolvent eğri parçası boyunu gören (ψ) kutup açısının, (α) açısı ile bağlantısı olarak tarif edilebilir. (F) evolvent eğrisinin başlangıç noktası olup, (r_t) yarı çaplı temel çember üzerindedir. (B) evolvent eğrisi üzerinde herhangi belirli bir nokta olup, bu noktadan temel çembere çizilen teğet, ”doğru” olarak “F” noktasından başlayarak, temel çember üzerinde yuvarlanma hareketi yapmasıyla, (FB) evolvent parçasını çizer ki , (FB) ye (FT) çember yayının açınımı (evolüt) denir. BT teğeti “kavrama doğrusu” (α) kavrama açısı adını alır. “BT” doğrusu temel çembere (T) noktasında teğettir.

Buna göre;

$$\psi = \text{ev}\alpha = FG / r_t \quad (1)$$

$$\alpha = GT / r_t \quad (2)$$

$$\gamma_{\text{üs}} = \text{Ev}\alpha_{\text{üs}} = \gamma_0 + \alpha_0 = (s_0/2) / r_t + \text{Ev}\alpha_0 = s_0 / d_0 + \text{Ev}\alpha_0 \quad (7)$$

Tablo 4.2 e göre (v) profil kaydırma miktarındaki bir dişlide bölüm çemberinde diş kalınlığı

$$s_0 = s_{zv} = t_0 / 2 \pm 2v \cdot \tan\alpha_0 = \Pi \cdot m / 2 + 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan\alpha_0 \quad (8)$$

$$s_0 = m \cdot (\Pi / 2 + 2 \cdot x \cdot \tan\alpha_0) \quad (9)$$

(7) nolu denklemde yerine koyarsak,

$$\text{Ev}\alpha_{\text{üs}} = (\Pi \cdot m / 2 + 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan\alpha_0) / (z \cdot m) + \text{Ev}\alpha_0 \quad (10)$$

$$\text{Ev}\alpha_{\text{üs}} = 1/z (\Pi / 2 + 2 \cdot x \cdot \tan\alpha_0) \quad (11)$$

4.2.2 Herhangi bir (r_b) yarıçapında (s_b) diş kalınlığı

Yay ifadesi olarak,

$$\gamma_b = (s_b/2) / r_b \quad \text{veya} \quad (12)$$

$$s_b = 2 \cdot r_b \cdot \gamma_b \quad (13)$$

olarak yazılabilir.

$$\Psi_b = (\psi_{\text{üs}} - \gamma_b) = \text{Ev}\alpha_{\text{üs}} - \text{Ev}\alpha_b \quad (14)$$

($\text{Ev}\alpha_{\text{üs}}$) in (11) nolu denklemdeki değeri ile

$$s_b = 2 \cdot r_b \cdot [1/z \cdot (\Pi / 2 + 2 \cdot x \cdot \tan\alpha_0) - (\text{Ev}\alpha_b - \text{Ev}\alpha_0)] \quad (15)$$

yazılabilir.

5. DİŞLİ ÇARK ÇEŞİTLERİ ve DİŞLİÇİFTLERİNİN BİRBİRLERİ İLE ÇALIŞMA KONUMLARI

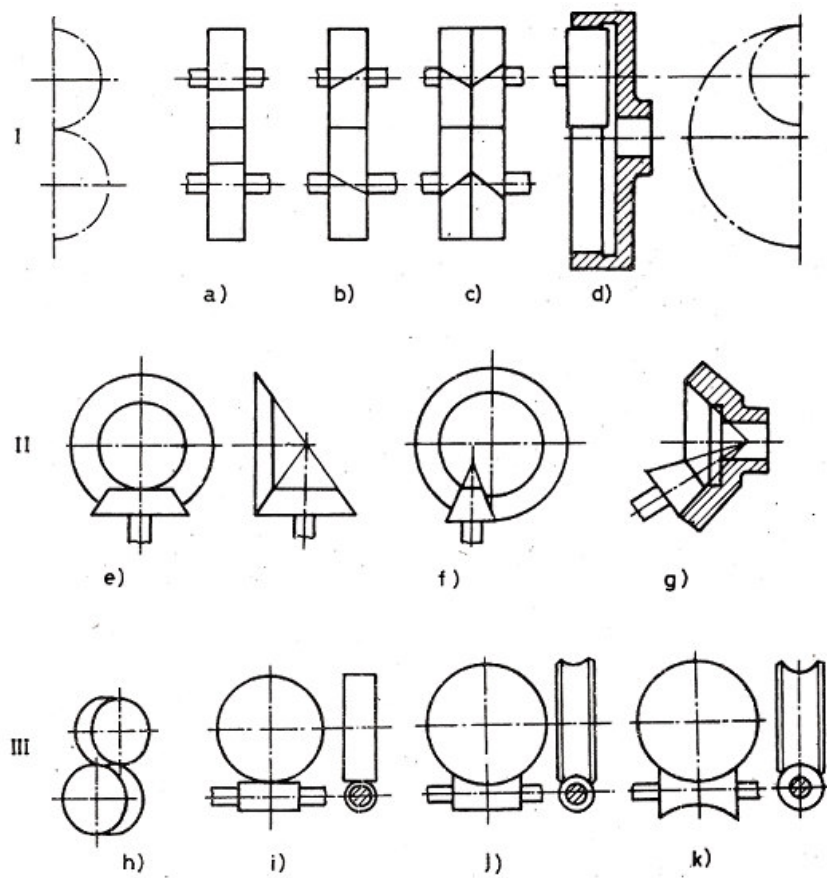
Dışlı çarkların tek olarak hiçbir anlam almadığı, ancak hareket ve kuvvet iletiminin bir dişli çark çifti ile mümkün olabileceği malumdur. Bu durumda dişli çiftinde çarkın biri tahrik eden diğeri tahrik edilen olur ve dişli çarkların şekillendirilmesi de birbirleri ile çalışma konumlarına göre olur.

I. grup ALIN DİŞLİLERİ; Bu gruptaki çarkların eksenleri paralel olup aynı düzlem içindedirler. Dişlerin doğrultuları çark eksenine paralel (Şekil 5.1 a DÜZ ALIN DİŞLİLERİ), veya eğik (b,c, HELİSEL ALIN DİŞLİLERİ) olabilir. Her iki dişli çark silindirik yüzeylerin dışıyla çalışıyorsa (a,b,c) bunlara DİŞ DİŞLİLER, içiyle çalışıyorsa (Şekil 5.1 "d" büyük çark) İÇ DİŞLİ adı verilir.

II. grup KONİK DİŞLİ ÇARKLAR; Çark eksenleri bir açı altında ve aynı düzlemde (e) veya bir açı altında aynı düzlemde (f) çalışırlar. Diş şekilleri, düz, doğru, çember yayı, evolvent v.b. eğrilikte olabilir. Şekil "f" de gösterilen KONİK DİŞLİ ÇARK çifti aynı zamanda bir vida dişli çiftidir. Küçük dişli konik vida şeklindedir. Bu grupta da iç dişli çark durumu vardır (Şekil 5.1g)

III.grup VİDA DİŞLİLER; Eksenleri paralel aynı düzlemlerde ve bir açı yapacak şekilde çalışırlar, bunlar esasında tek olarak alın dişlisidirler (Şekil h). Aynı grupta küçük çark aynen bir vida gibidir, bunlara SONSUZ VİDA GRUPLARI denir (Şekil 5.1 i,j,k). Bu dişli çiftlerinin eksenleri aynı düzlemlerde olup birbiriyle 90° açı yaparlar.

Hangi gruptan olursa olsun, dişlerin çark eksenine göre konumu ne olursa olsun her dişli çark bir alın düzlemi bir de dişlerin doğrultusuna dik normal düzlem içerisinde mütalaa edilebilir. Düz alın dişlilerinde (Şekil 5.1 a) alın düzlemi ile normal düzlem aynı olup, çakışıktır.



Şekil 5.1 Dişli çark çeşitleri ve birbirleri ile çalışma konumları

I. a) Düz alın dişlisi b) Helisel alın dişlisi c) çift yön.l alın dişlisi (çavuş dişli) d) İç dişli. II. e) Düz konik dişli f) Vida konik dişli (Hipoid dişli) g) İç konik dişli XII. h) Vida alın dişli i) Düz sonsuz vida çifti j) Karşı çarkı sonsuz vida çapma uygun kaviste sonsuz vida çifti k) Her iki dişli birbirinin eğriliklerine uygun olarak şekillendirilmiş sonsuz vida çifti (Globoidal dişliler).

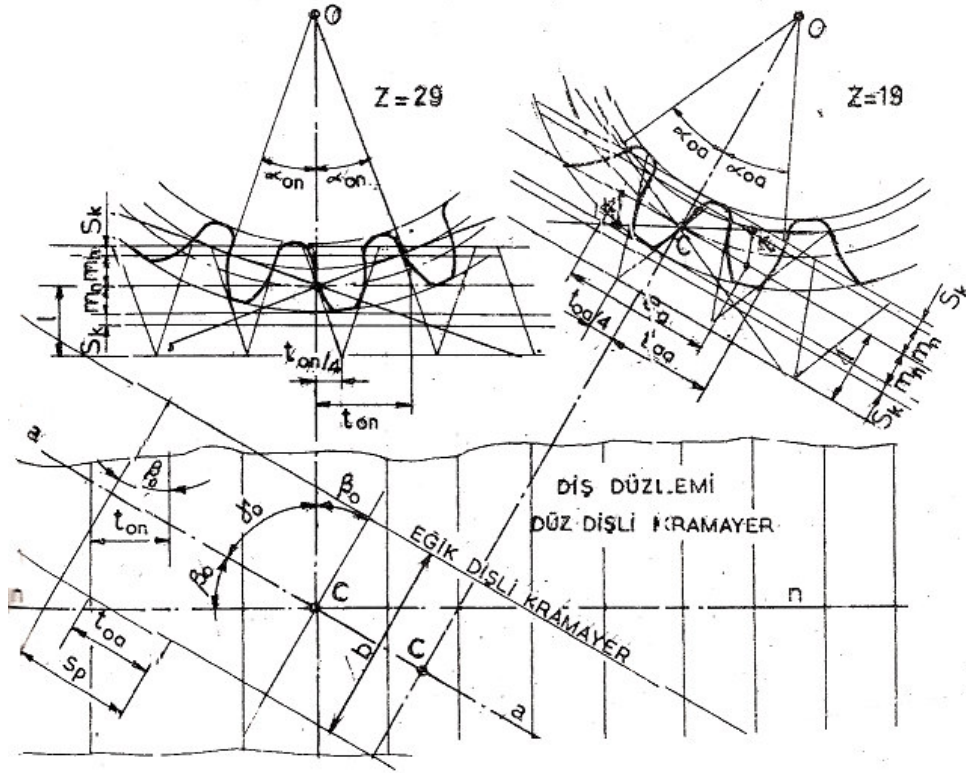
5.1. Helisel Alın Dişlileri

5.1.1. Tarifi

Şekil 5.2 de genişliği sonsuz olan bir kramayer dişli ile (a_k) dış çapında plâstik (şekillendirilebilen) bir malzemedan yapılmış dişli çark taslağını düşünelim.

Dişli çark taslağını kramayer dişlerine dik (n-n) doğrultusunda yuvarladığımız takdirde dişli taslağının çevresinde evolvent profilli dişler meydana gelir ve bu bir düz alın dişlisi olur. Normal doğrultuda yuvarlanma hareketi ile meydana gelen (t_0) hatvesine (t_{on}) ile gösterip "Normal Hatve" adını vereceğiz. Aynı dişli taslağını bu kez normal doğrultu ile (β_0) açısı yapan (a-a) doğrultusunda yuvarlayalım,

yine evolvent profilli dişler meydana gelir, yalnız dişler dişli çark eksenine göre (β_0) açısı kadar eğik durumdadır ve her biri k eksenine göre helis parçasıdır. Helisin eğim açısı $\gamma_0 = 90^\circ - \beta_0$ dir.



Şekil 5.2 Helisel alın dişlisinin meydana gelişi ve ana büyüklükler

5.1.2. Ana Büyüklükler

(a-a) doğrultusunda meydana getirilen helisel dişli bir çarkın dişlerinde iki türlü hatve okumak mümkündür. Biri dişlinin alnından bakıldığı zaman görülen ve (a-a) doğrultusundaki (t_{oa}) "Alın Hatvesi", diğeri bundan küçük olan ve (n-n) doğrultusundaki (t_{on}) "Normal Hatve" dir.

Bunlara bağlı olarak da $m_a = t_{oa} / \Pi$ alın modülü ve $m_n = t_{on} / \Pi$ normal modül kıymetleri doğar, her iki büyüklüğün arasında (β_0) eğiklik açısına bağlı trigonometrik ilişki vardır.

$$m_a = m_n / \cos \beta_0 = m_n / \sin \gamma_0$$

$$t_{oa} = t_{on} / \cos \beta_0 = t_{on} / \sin \gamma_0 \quad (16)$$

(β_0) açısına ve (b) diş genişliğine bağlı olarak diş helisinin (yükselişi) hatvesi (S_p) dir, buna "Diş Helis Hatvesi" denir.

$$S_p = b \cdot \tan \beta_0 = b \cdot \cos \gamma_0 \quad (17)$$

Şekil 5.2 de (n-n) doğrultusuna göre normal ve a-a. doğrultusuna göre alın kesitlerini alırsak, alın kesitindeki çevresel büyüklüklerin (t_{oa} , α_{oa}) normal kesittekilere göre (t_{oa} , α_{oa}) daha büyük olduğunu görürüz. Doğrusal oları, diş yüksekliği, dişli taslaklarının her iki durumdaki yuvarlanma hareketinde kramayer düzlemine göre yükseklikleri değişmediğinden, sabit kalır.

Kavrama açılarındaki bağıntıya gelince; her iki kesitte kramayer yanaklarının kesişme noktasının yuvarlanma çemberine olan (1) yükseklikleri aynıdır, yuvarlanma düzlemindeki hatvelerin 1/4 ü ile $t_{oa} / 4$, $t_{on} / 4$ meydana getirilecek dik üçgenlerden,

$$tg\alpha_{on} = t_{on} / 4.1, tg\alpha_{oa} = t_{oa} / 4.1, tg\alpha_{on} / tg\alpha_{on} = t_{oa} / t_{on} = t_{on} / t_{on} \cdot \cos\beta_o, tg\alpha_{oa} = tg\alpha_{on} / \cos\beta_o \quad (18)$$

eşitliği elde edilir.

5.1.3. Sınır Diş Sayısı Ve Profil Kaydırma İle Alt Kesilmenin Önlenmesi

Normal düz dişlilerde sınır diş sayısını bulurken $m = m_n \cdot z \sin^2 \alpha_o / 2$ formülü kullanılmaktadır . Bu formülde eşitliğin bir 'tarafındaki (m) diş yüksekliğini ifade eden ve helisel alın dişli çarklarda (m_n) normal modül olarak ifade edilen, eşitliğin diğer tarafındaki ($m_z / 2$) ifadesindeki modül ise yarıçapı ifade için yapılmıştır ki, helisel alın dişli çarklarda $m_s = m_n / \cos\beta_o$ alın modülü ile ifade edilmesi gerekir. Bu dişlilerde sınır diş sayısını da (z_{sa}) gösterirsek yukarıdaki formül,

$$M_n = m_a / 2 \cdot z_{sa} \cdot \sin^2 \alpha_{oa} = m_n / 2 \cos\beta_o \cdot z_{sa} \cdot \sin^2 \alpha_{oa}$$

$$z_{sa} = 2 \cos\beta_o / \sin^2 \alpha_{oa} \quad (19)$$

Bu formülden görüleceği gibi sınır diş sayısı (β_o) açısının fonksiyonu olarak değişir. ($\beta_o = 0$) olduğu takdirde $\cos\beta_o = 1$ olur, düz alın dişli halidir, $z_{sa} = 17$ diş $\alpha_{oa} = 20^\circ$ ile bulunur.

Aynı düşünce tarzı ile alt kesilmeyi önlemek için gerekli profil kaydırma faktörü,

$$x_a = x_n \cdot \cos \beta_o = \cos \beta_o (1 - (z / z_{sa})) \quad (20)$$

Bu formüllerden elde edilebilecek neticeler normal diş sayısı (z_n) e göre profil kaydırma faktörü

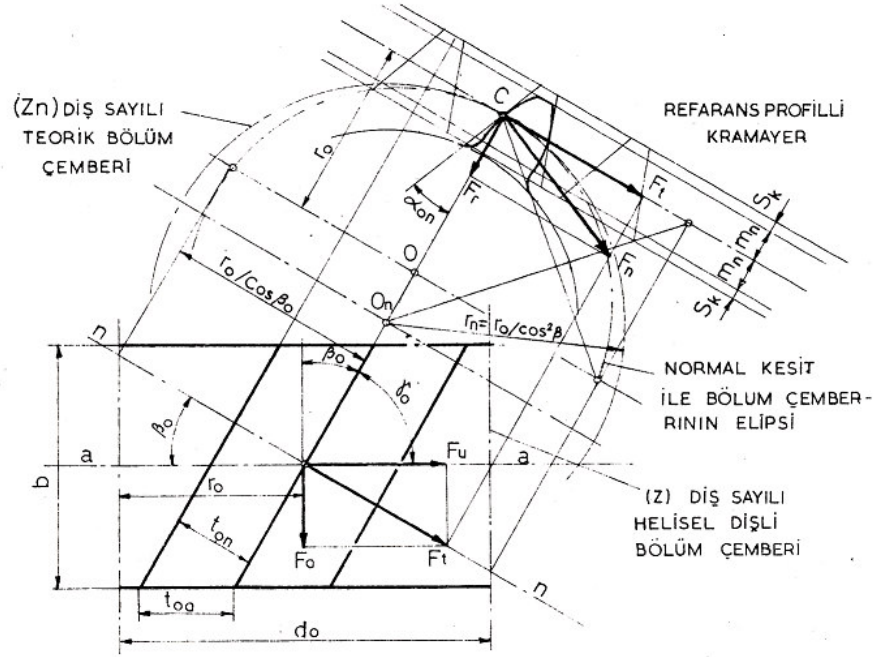
$$X_n = 1 - (z / z_{sa}) = 1 - (z / z_{sa} \cdot \cos^3 \beta_o) \quad \text{olur.} \quad (21)$$

Alın diş sayısına göre (hakiki diş sayısı) (z)

$$x_a = \cos \beta_o (1 - (z / z_{sa})) \quad (22)$$

olarak ifade edilebilir.

5.1.4. Hakiki Ve Teorik (İmalat) Diş Sayıları



Şekil 5.3 Helisel dişli çarkta normal kesit ve büyüklükler

Helisel alın dişli çarkı, dişlerin dik bir (n-n) düzlemiyle kesip yatırırsak; yarıçapları (r_0) ve ($r_0/\cos\beta_0$) olan bir elips meydana gelir (Şekil 5.3). Bu elipsin (O) noktası karşı dişli çarkla temas noktası ise aynı zamanda yuvarlanma temas noktasıdır. Bu noktaya ait eğrilik yarıçapı yuvarlanma hareketi devam ettiği müddetçe değişmez olarak,

$$r_n = (r_0 / \cos \beta_0) / r_0 = r_0 / \cos^2 \beta_0 \quad (23)$$

başka bir tabirle sanki (r_n) yarıçaplı bölüm çemberinde (m_n) modüllü dişli çalışıyormuş gibi düşünülebilir, bu durumda dişli sayısı ise,

$$2\pi r_n = 2\pi r_0 / \cos^2 \beta_0 \quad \text{veya} \quad m_n \cdot r_n = m_a \cdot z / \cos^2 \beta_0 \quad (24)$$

z , hakiki diş sayısı, z_n normal diş sayısı, $m_a = m_n / \cos \beta_0$ ile,

normal diş sayısı

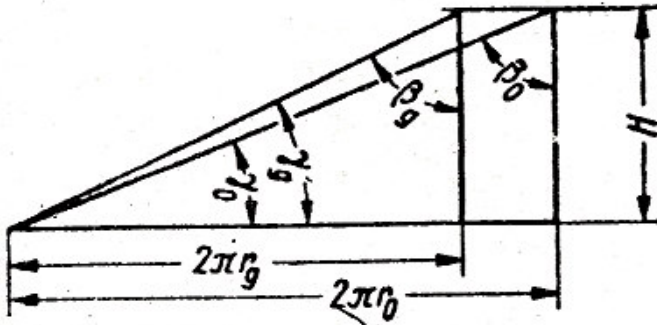
$$z_n = z / \cos^3 \beta_0 \quad \text{olur.} \quad (25)$$

Helisel dişli çarkın imalatı normal kesite göre olacağından, hesaplar veya takımlar (z_n) diş sayısı ve (m_n) normal modüle göre seçilir. Dişli taslağına ait geometrik büyüklükler ise alın ölçüleri, (z_a) alın diş sayısı ve (m_a) alın modülüne göre hesap edilir.

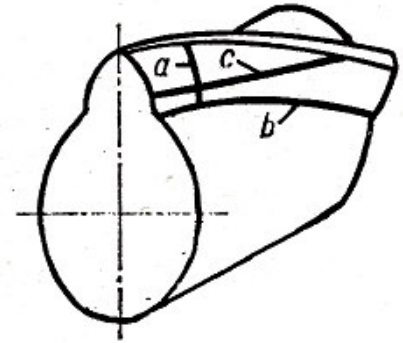
$$d_a = m_a \cdot z \quad (26)$$

5.1.5. Kavrama Oramı

Helisel alın dişlileri esasında, aynen vida gibi (r_t) yarıçaplı temel silindir üzerine sarılmış evolvent helisel yüzeyli dişlerden ibaret bir cisim olarak düşünebiliriz. Vidaya göre mukayese edersek silindirin diş dibi çemberi (r_t) yarıçaplı temel çember vida ortalama çapı, (r_o) yarı çaplı yuvarlanma çemberi ve diş üstü çemberi de (r_a) yarıçaplı dişli çark diş üstü çemberi olur. Dişli çark genişliğini (b) bir helis hatvesi (H)dan daha geniş tutarak açıklayacak olursak, diş eğim ve eğiklik açılarının (r_o) ve (r_t) yarı çaplı çemberlere göre değişeceği görülür.



Şekil 5.4 Eğim açısı



Şekil 5.5 Evolvent vida alın profil evolventi (a) ile bir eğik dişin yanak yüzeyi, helis eğrisi (b) ve evolvent vida yüzeyinde meydana gelen doğru (c).

Temel ve yuvarlanma çemberlerine göre eğim,

$$\operatorname{tg} \beta_t = 2\pi r_t / H \quad \operatorname{tg} \beta_o = 2\pi r_o / H \quad \operatorname{tg} \beta_t = (2\pi r_t / 2\pi r_o) \cdot \operatorname{tg} \beta_o \quad r_t = r_o \cdot \cos \alpha_{oa} \quad \text{alınarak}$$

$$\operatorname{tg} \beta_t = \operatorname{tg} \beta_o \cdot \cos \alpha_{oa} \quad \text{veya} \quad \sin \beta_t = \sin \beta_o \cdot \cos \alpha_{oa} \quad (27)$$

temel çember eğiklik açısı çeşitliği yazılabilir. Kavrama oranı ise, kavrama boyunu (Şekil 5.2) düz dişli çarklara göre K_1 ve K_2 doğruları, (α_{oa} açısı ve (b) diş genişliği ile sınırlanmış kavrama düzleminde kavrama boyu (e_a) in hatveye oranı ve dişlerin eğikliğinden dolayı " s_p " diş helis hatvesinde de kavrama başlayacağından kavrama oranı sıfır dişlileri için,

$$\varepsilon_a = (e_a / t_{oa}) + (s_p / t_{oa}) = \varepsilon_a + \varepsilon_e > 1 \quad (28)$$

olarak yazılır, (ε_a) alın, (ε_e) eğiklik kavrama oranlarıdır.

5.1.6. Mukavemet Hesapları

Düz alın dişlerinde hesap edildiği gibi aynı (F_u) çevre kuvveti bu dişlilere de işletme kuvveti olarak etki eder. Yalnız aynı işletme şartları olsa dahi eğik dişlilerde diş biçiminden dolayı dişin taşıyabileceği çevre kuvveti (F_{ua}) aynı büyüklükteki çarkta daha büyük olur. Bu değişikliği helisel alın dişlilerine ait bazı katsayılarla düz dişlinin taşıyabileceği kuvvete göre ifade edersek,

$$F_{ua} = F_u \cdot q_a \cdot (q/q_n) = (\sigma_{e \text{ müs.}}^{(0.85 \cdot \varepsilon)} / q) b \cdot m \cdot q_a \cdot (q/q_n)$$

$$F_{ua} = (\sigma_{e \text{ müs.}}^{(0.85 \cdot \varepsilon)} / q_n) b \cdot m \cdot q_a \quad (29)$$

olarak ifade edebiliriz.

Bu formülde, (q) diş şekil faktörü, $z/\cos\beta_0$ diş sayısına göre

$$(q_n) \text{ “ “ “ , } z/\cos^2\beta_0 \text{ “ “ “}$$

$$(q_a) \text{ diş eğiklik faktörü}$$

Diş yanak mukavemetine göre çevre kuvveti ifadesi

$$F_{ua} = F_u \cdot y_s = K_{e \text{ müs.}} \cdot b \cdot d_{01} \cdot y_e \cdot y_s \quad (30)$$

dir. Ayrıca (Şekil 5.1) göre normal kuvvetin birleşenleri arasındaki münasebet ; çekme kuvveti

$$F_{ÜS} = F_t \cdot \cos\beta_0 = F_n \cdot \cos\beta_0 \cos\alpha_{0n} = M_{t1 \text{ max}} / r_{01} = M_{t2 \text{ max}} / r_{01}$$

Eksenel kuvvet, (dişli çark yataklarına gelen eksenel kuvvet)

$$F_a = F_{ua} \cdot \tan\beta_0 = F_t \cdot \sin\beta_0 \quad (31)$$

Teğet düzlemdaki teğetsel normal kuvvet

$$F_t = F_n \cdot \cos\alpha_{0n} = F_{ua} / \cos\beta_0 \quad (32)$$

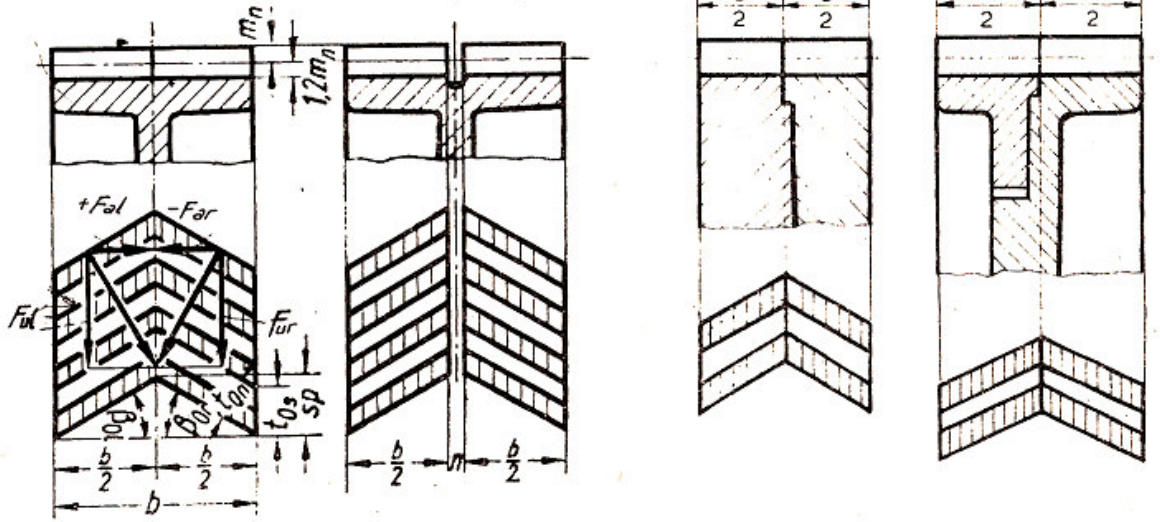
ve radyal kuvvet (dişli çark yataklarına gelen radyal kuvvet)

$$F_r = F_n \cdot \sin\alpha_{0n} = F_{üs} \cdot \tan\alpha_{0n} / \cos\beta_0 \quad (33)$$

(F_{ua}) çevre kuvveti dişli çarkta döndürme momentini meydana getiren veya döndürme momentinden oluşan kuvvettir.

5.1.7. Konstrüksiyon Durumu

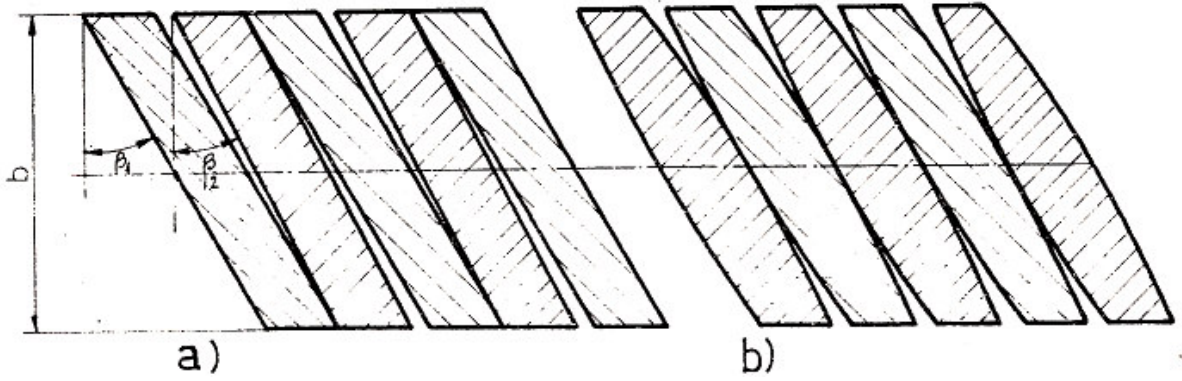
Helisel alın dişlilerinde en büyük mahsurlardan biri (F_e) eksenel kuvvetin meydana gelmesidir. Bu kuvvet büyük olduğu takdirde, ayrıca bir eksenel yataklama sorunu ortaya çıkar, bu sebepten ekseri bu tip işletmelerde diş eğiklik açıları simetrik olacak şekilde iki dişli çark yarı yarıya veya aynı çark üzerine yine simetrik eğiklik açıda almak üzere dişler tanzim edilir. (Şek



Şekil 5.6 Çift, simetrik eğik dişli durumu

Bu suretle aynı doğrultuda aksi yönlerde meydana gelen eksenel kuvvetler birbirini yok eder. Yine bu dişli çarkların imalatında ve montajında dikkat edilmesi gerekli çok önemli husus, dişlerin bir doğru boyunca çalışmasını temin etmektedir. (Şekil 5.7)

Takım dişlilerinin imalatında (β_0) açısının oynamaları, tolerans dışı hatalar işlemi yalnız uç kısımların çalışmasına yol açar. Çok mahsurlu bir işletme durumudur. Bu sebepten aynı tezgâhta takım



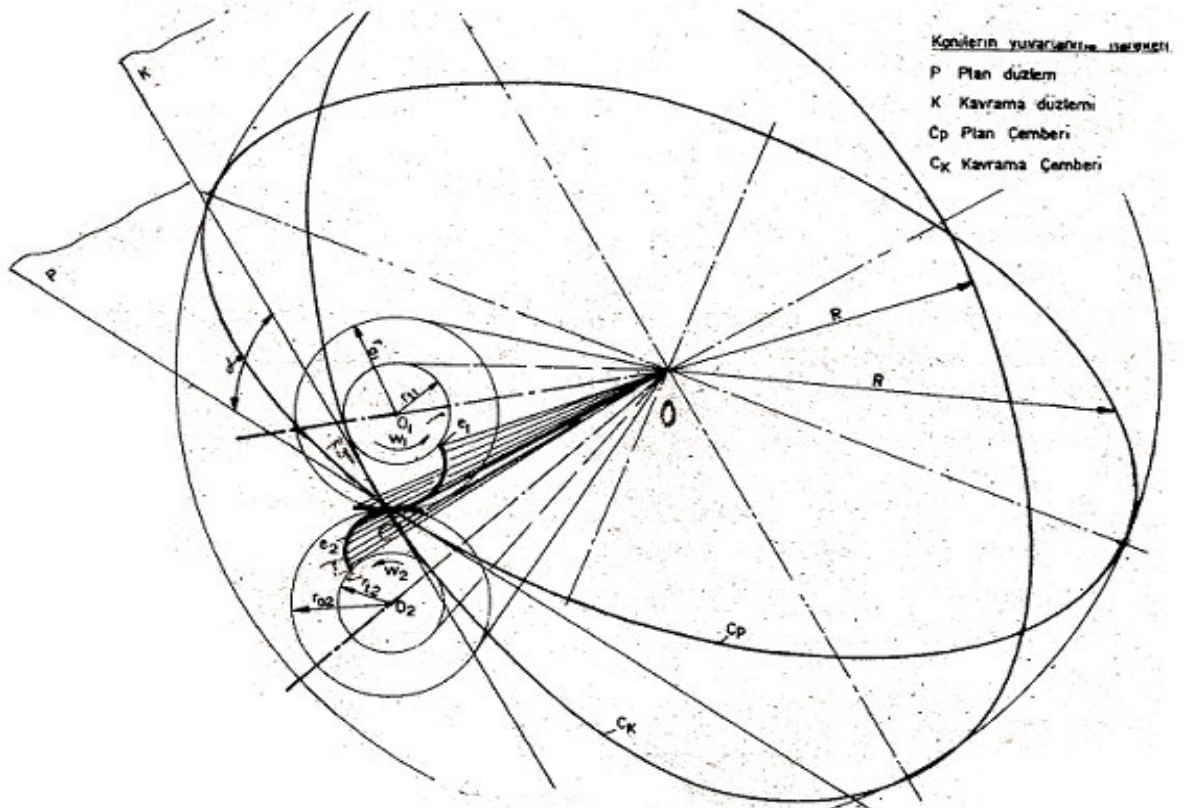
Şekil 5.7 a) Diş kalınlıkları eşit, eğim açıları farklı dişler

b) Kalınlıkta bombeli dişler

(Şekil 5.7) de hatasız diş kalınlıkları olsa bile eksenlerin paralel olmayışı diş uçlarında büyük yükler doğurur, imalat hatası olarak bombeli imâl edilmiş dişlerde ise bu mahzur yoktur fakat diş yüzeylerinde yüzey basıncı büyür. Bu gibi hataların olmaması sağlıklı bir çalışma için önemlidir.

5.2. Konik Dişli Çarklar

5.2.1. Konik Dişli Geometrisi



Şekil 5.8 Konik dişli taslaklarının yuvarlanma düzlemleri

Taban yarıçapları r_{01} ve r_{02} olan iki koni birbirlerine ayrıtları boyunca teğet halinde (O) merkezi etrafında (w_1 ve w_2 açısal hızları ile dönerek) yuvarlanma hareketi yaparlar ve (P) düzleminde (C_p) çemberini çizerler. Buna karşılık (P) düzlemi ile (α_0) açısı yapan diğer bir (K) düzlemine göre aynı açısal hızlarla konilerin ($x_1 x_2$) eksenleri etrafında dönerek yuvarlanma hareketi düşünülebilir.

Bu takdirde koni tabanında (K) düzlemine (T_1) ve (T_2) noktalarında teğet olan (r_{11}, r_{12}) yarıçaplı çemberlerin meydana getirdiği koniler mevzubahistir ve (K) düzleminde (C_k) çemberini çizerler; her iki çember uzayda (R) yarıçaplı kürenin merkezden geçen büyük çemberleridir. Aynen diğer dişli çarklarda olduğu gibi yuvarlanma hareketi

$$T_1 G_2 = CT_1 \quad \text{keza} \quad T_2 G_2 = CT_2 \quad (34)$$

yayların eşitlikleri ile ifade edilebilir ve (r_{11}, r_{12}) çemberleri üzerindeki (G_1, G_2) noktaları küre yüzeyinde (e_1, e_2) evolvent eğrilerini çizerler dişli kanununa tamamen uygun olarak (e_1, e_2) evolventleri (C_k) çemberi üzerinde, keza bunların (O) merkezine doğru meydana getirdikleri yüzeyde (K) düzleminde (CO) doğrusu boyunca birbirlerine teğet olurlar, ortak teğet düzlemleri (T) olur; Hareketin devamınca eğrilerin temas noktası (C_k) çemberi üzerinde dolayısıyla evolvent yüzeylerin temas çizgisi (K) düzlemi üzerinde yer değiştirir, bunlarla birlikte (T) ortak teğet düzleminin yeri de değişir, bu durumda dişli çarklara göre buradaki ifade edilen büyüklükler;

(P) Plan düzlemi

(K) Kavrama düzlemi

(C_p) Plân çemberi

(C_k) Kavrama çemberi (alın dişlilerinde kavrama doğrusu)

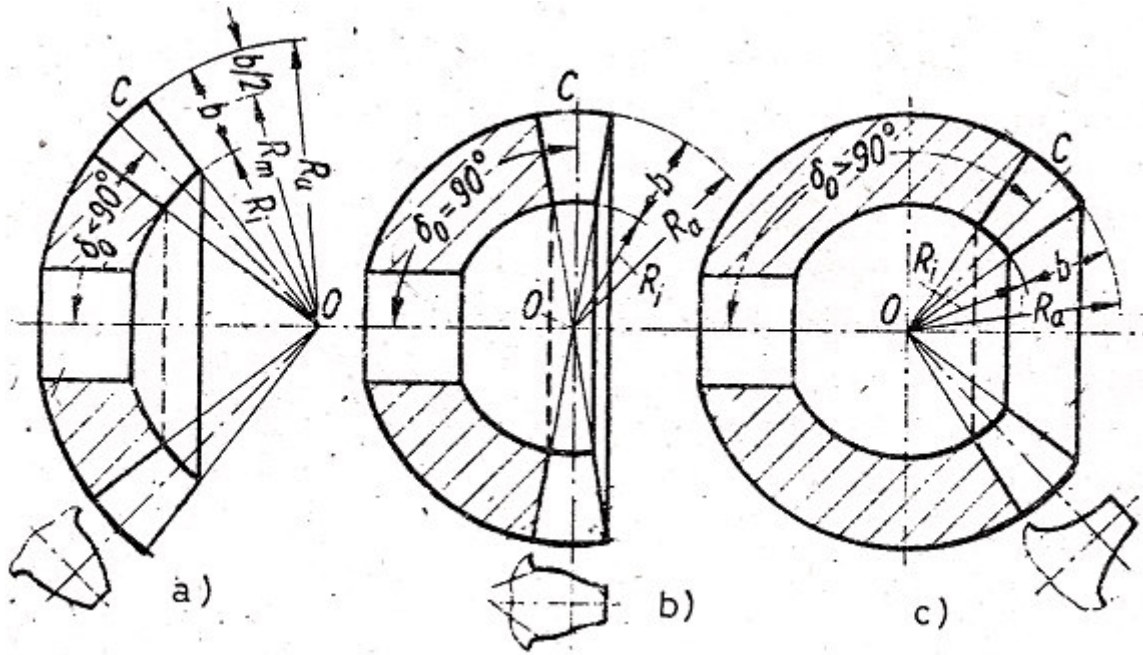
(α_0) Kavrama açısı

($r_{01,2}$) Koni tabanında bölüm çemberleri

($r_{11,2}$) Koni tabanında temel çemberleri

(T) Ortak teğet düzlem (K düzlemine her an diktir.)

(e_1, e_2) evolvent eğrilerine gelince, küre yüzeyinde ve kürenin büyük çapında meydana gelir. Düzlemsel evolvent şekinden farklıdır. (C_p) çemberi profil orta eksenini kabul edilirse (S) şeklindedir, buna "Küre Evolventi" adı verilir. Şekil 5.9 da küre üzerinde meydana getirilen üç ayrı evolvent görülmektedir. Şekil 5.9 a küre tepesinde meydana getirilen evolvent, alışılmış bombeli dış diş profiline benzediği halde kürenin en büyük çemberinde meydana getirilen evolvent (S) gibi değişik bir biçimdedir.

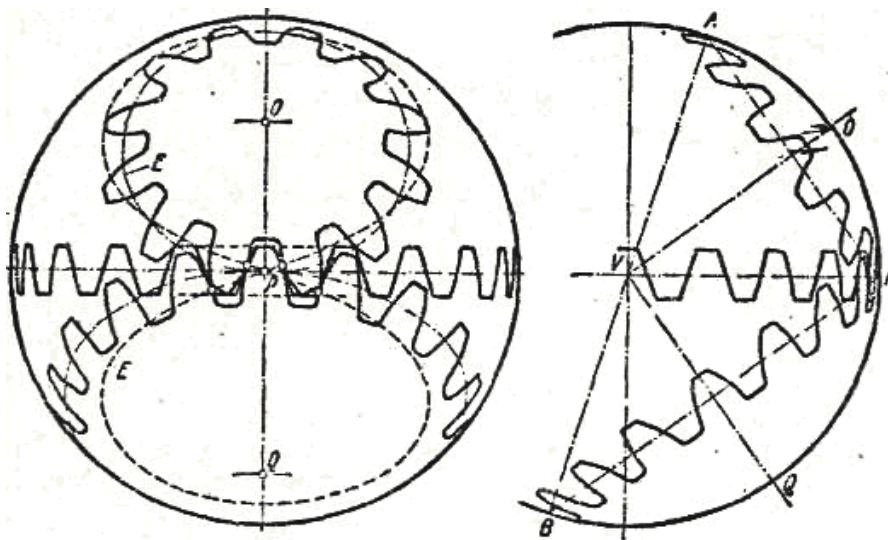


Şekil 5.9 Küre evolventi

- a) Küre takkesinde (dış konik dişli)
- b) Küre büyük çemberde (plan çark)
- c) İç konik dişli

Şekil 5.9.b; burada meydana gelen dişli çarka "plân çarkı" adı verilir. Küre çapı (∞) sonsuz olduğu takdirde, plan çarkı alın dişlilerinde düz yani kramayer dişli olur. (Şekil 5.11)

Düz alın dişlilerinde kramayerle dişlilerin çalışması ve yuvarlanma metoduna göre dişlilerin imaline ait kinematik prensipler konik dişlilerde aynen geçerlidir.



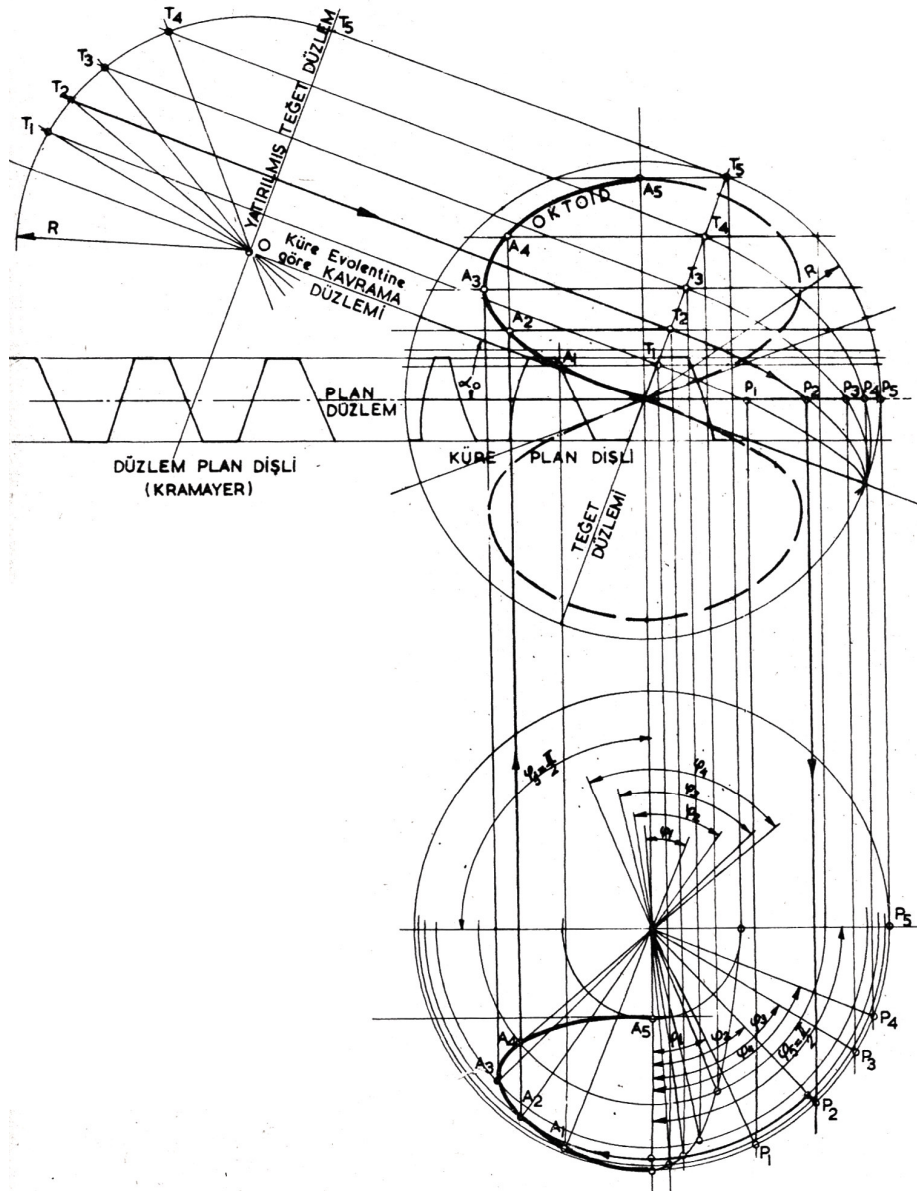
Şekil 5.10 Plân çarkı, referans dişlisi olarak konik dişlilerin çalışması

Şekil 5.10 da plan çarkı referans dişlisi olarak konik dişli çarkların çalışması gösterilmiştir. Şayet konik dişli çarkı yuvarlanma metoduna göre aynı şekilde imal etmek istersek, kesici bıçağın yanak profilini plan çarkın (S) şeklini vermemiz gerekir. Halbuki konik çarkta diş profili küre merkezine doğru gittikçe küçülen ve dolayısıyla yanak profil eğrilerinin her an değiştiği bir durum arz eder. Teknik olarak böyle bir kesici bıçak ve diş kesimi olanaksızdır, bu bakımdan kesici bıçağın diş yanakları aynen alın dişlilerindeki kramayer bıçak gibi yapılır.

5.2.2. Oktoid Eğrisi

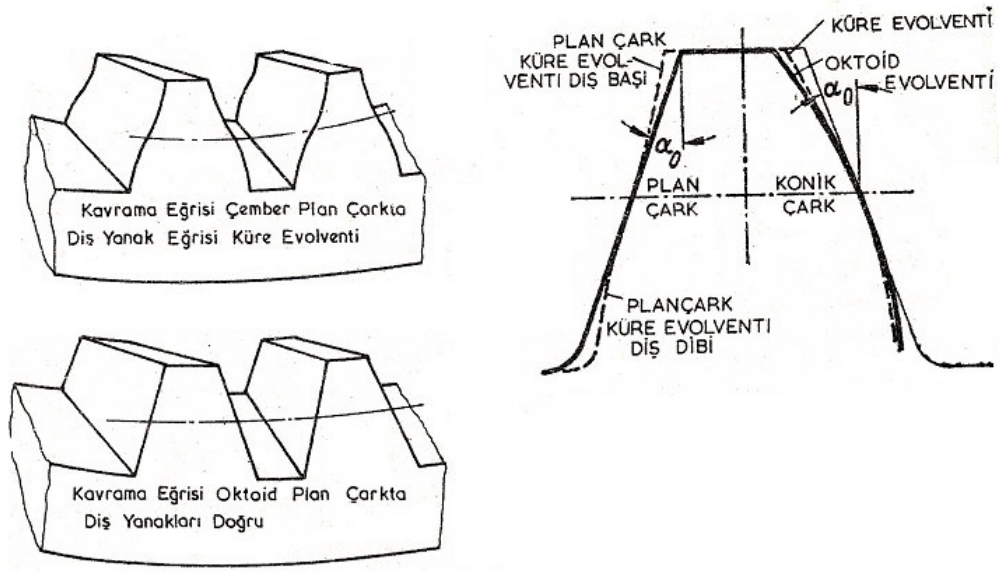
Şekil 5.11 de küre yüzeyinde plân çarkın diş yanakları düz, doğrultusu küre evolventine göre kavrama düzlemine dik olarak alınmıştır. Kürenin düşey düzlemi ile (α_0) açısı yapar. Bu durumda düz yanaklı plan çarkı referans çark olarak kabul ederek çalışan aynı küre yüzeyindeki iki konik dişli çarkın kavrama doğrusunu arayalım. Reuleaux metoduna göre bilinen profil plan çarkın diş doğrultusu olarak alalım, üzerindeki $T_{1,2}, \dots$ noktalarından normal düzlemler geçirelim. Yatırılmış görünüşte ($T_{1,2}, \dots - 0$)dan geçen doğrular, karşıdan görünüşte elips olarak görünür. Elipslerin yuvarlanma plan düzlemini kestiği ($P_{12}, \dots$) noktalarının (C) noktasına geldiği zaman, ($T_{12}, \dots$) noktaları da plan düzleme paralel düzlemlerde aynı açılar tarayarak yeni, bir konum alır ve küre yüzeyinde, (C) noktasında kesişen (8) biçiminde bir eğri çizerler. Bu "oktoid" eğrisi olup (Latince "octo" sekiz demektir). Aynı zamanda yeni kavrama eğrisidir. (Küre evolventinde kavrama eğrisi, kavrama düzlemi çemberidir.)

Kesici bıçak olarak düz yanaklı plân çark ile konik dişli çark yuvarlanma metoduna göre imal edilirse, diş profili de oktoid eğrisi olur (Şekil 5.12). Bu evolvente çok yakın olup, küre evolvente göre diş üstü kalınlığı daha dar, diş dişi kalınlığı ise daha geniştir. Bir dereceye kadar (+) profil kaydırılmış diş profiline benzer bu da diş mukavemeti bakımından daha uygun bir durum olur.



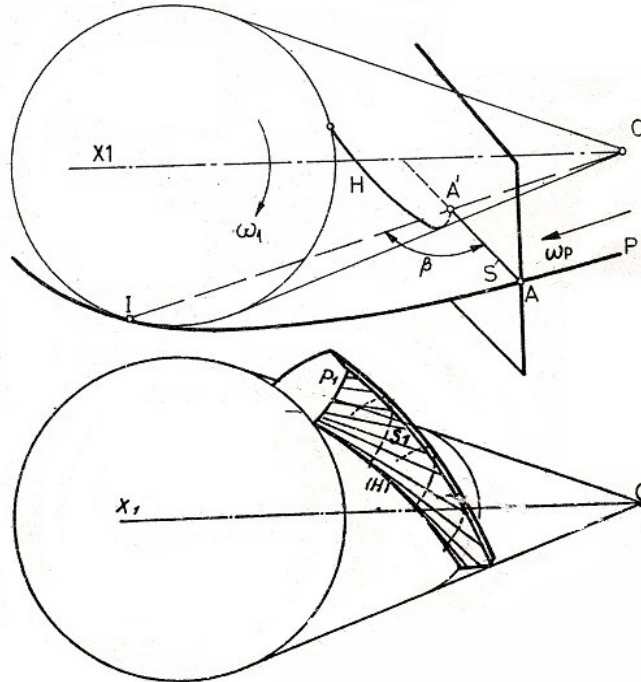
Şekil 5.11 Oktoïd eğrisinin meydana gelişi

Oktoïd eğrisinin çizimi: Üstten görünüşte (P_{12}) noktaları çember üzerinde, (T_{12}) noktaları ise elips eğrisi üzerindedir. (P_{12}) noktaları (O) merkezine göre (α_{12}) açılarını tarayarak (C) noktasına geldiklerinde, ($T_{12} \dots$) noktaları da aynı (O) merkezi etrafında aynı (α_{12}) açılarını tarayarak ($A_{123 \dots}$) yerlerine gelirler. Bu noktalar karşıdan görünüşe taşınırlarsa, ara çizgilerinin ($T_{12} \dots$) noktalarından geçen yatay düzlemlerle kesiştiği noktaların ($A_{123 \dots}$) izi OKTOİD eğrisinin karşıdan görünüşüdür.



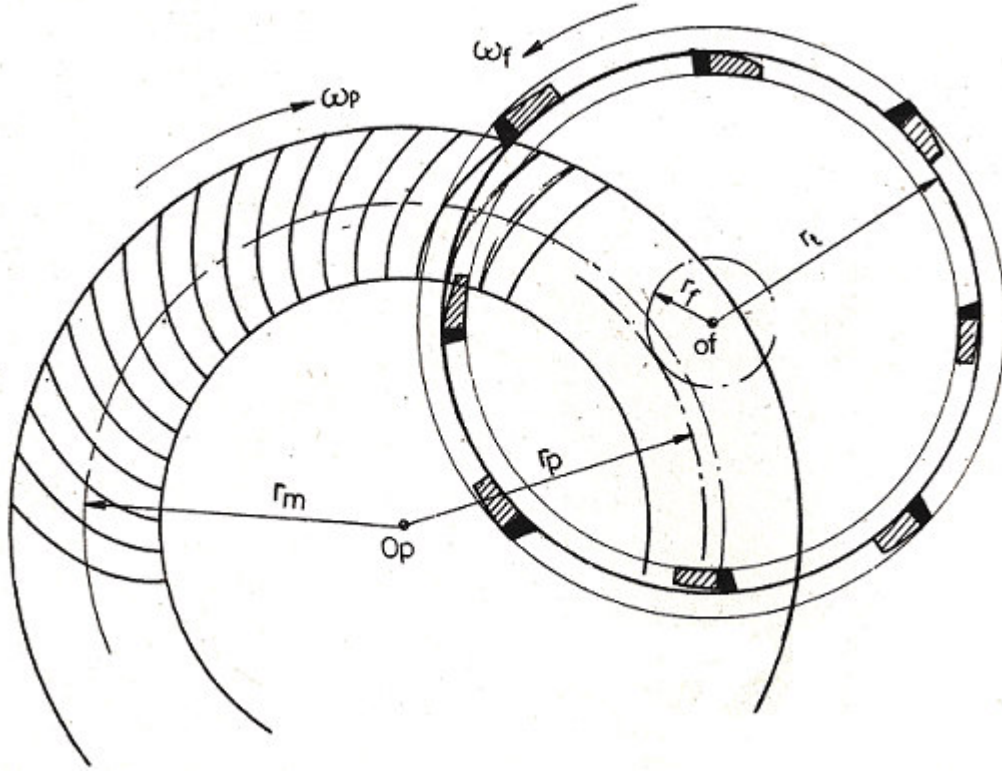
Şekil 5.12 Kesici bıçak ve diş, yanak eğrileri

5.2.3. Helisel Konik Dişli Çarklar



Şekil 5.13 Helisel konik dişli çarkın meydana gelişi

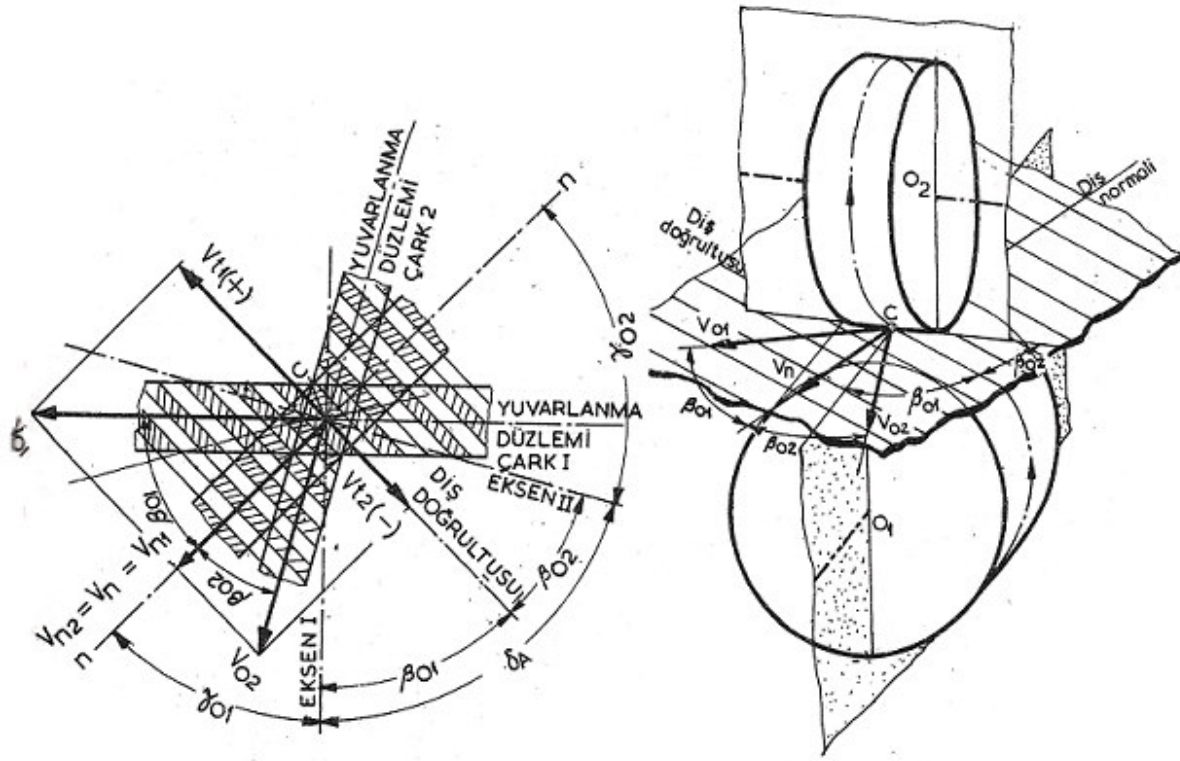
Şekil 5.13 de (P) plan düzleminde (ω_1) açısal hızıyla kürenin (O) merkezine göre yuvarlanma hareketi yapan koni bu düzlemle (O-I) ayrıtı boyunca temas halindedir. Düzlem üzerindeki (S) doğrusu (O-I) ayrıtı ile (β) açısı, yapmaktadır. Yuvarlanma hareketi devamınca bu doğru koni yüzeyinde (H) helis eğrisi olarak bir iz bırakır.



Şekil 5.15 Spiral kavisli plan çarkın imalatı

5.3 Vida Dişliler

5.3.1 Tarif



Şekil 5.16 Eğik dişlilerin kramayer referans düzlem dişlisine göre mukayesesi

1 ve 2 nolu dişli çarklar, dişli eksenleri arasında (δ_A) gibi bir açı yapacak konuda bölüm çemberi (C) noktasında temas halinde olarak, uygun w_1 ve w_2 açısal hızları ile dönerek yuvarlanma hareketi yaparlar. Diş eğimleri (β_{01}) ve (β_{02}) eksenler arası $\delta_A = \beta_{01} + \beta_{02}$ olarak aynen bir dişli çark gibi çalışırlar (Şekil 5.16)

Ortak hareket normal doğrultusunda ve bu doğrultudaki hız izdüşümleri eşit olacaklarından (C) noktasının teğet düzlemi üzerindeki hızların münasebetini şöylece yazabiliriz.

$$U_n = U_{n1} = U_{n2} = U_{01} \cdot \cos\beta_{01} = U_{02} \cdot \cos\beta_{02} \quad (35)$$

$$r_{01} \cdot w_1 \cdot \cos\beta_{01} = r_{02} \cdot w_2 \cdot \cos\beta_{02} \quad (36)$$

$$r_{01} = \frac{1}{2} \cdot (m_n / \cos\beta_{01}) \cdot z_1 \quad (37)$$

$$r_{02} = \frac{1}{2} \cdot (m_n / \cos\beta_{02}) \cdot z_2 \quad (38)$$

hız oranlarına gelince

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{r_{02} \cdot \cos\beta_{02}}{r_{01} \cdot \cos\beta_{01}} = \frac{\frac{m_n}{\cos\beta_{02}} \cdot z_2 \cdot \cos\beta_{02}}{\frac{m_n}{\cos\beta_{01}} \cdot z_1 \cdot \cos\beta_{01}} = \frac{z_2}{z_1} \quad (39)$$

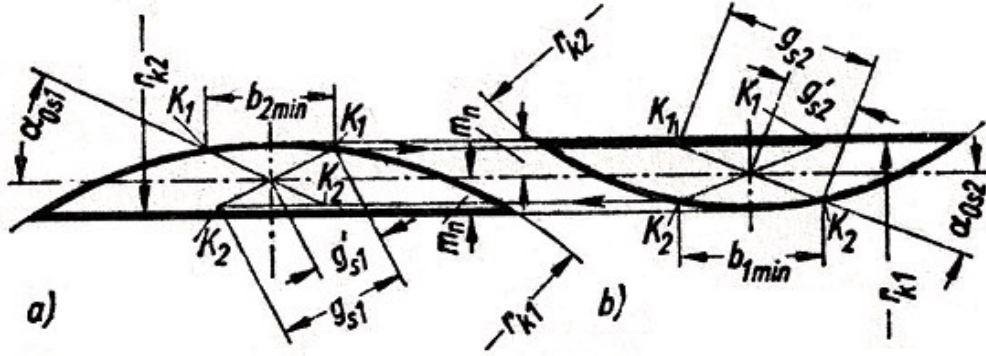
Yani diğer alın dişlilerde olduğu gibi diş sayıları ile çaplar değil çapların (Cosβ) ları orantılıdır. Özel olarak :

$$\begin{aligned} r_{01} &= r_{02} & \text{olursa} & i = \cos\beta_{02} / \cos\beta_{01} = z_2 / z_1 \\ \beta_{01} &= \beta_{02} & \text{olursa} & i = r_{02} / r_{01} \\ \delta_A &= \beta_{01} + \beta_{02} = 90^\circ & \text{olursa} & \cos\beta_{02} = \sin\beta_{01} \\ i &= r_{02} / r_{01} \cdot \tan\beta_{01} & \text{olur.} & \end{aligned} \quad (40)$$

Kayma hızı ise,

$$v_t = v_{t1} - v_{t2} = v_{01} \cdot \sin\beta_{01} - (-v_{02} \cdot \sin\beta_{02}) = v_{01} \cdot \sin\beta_{01} + v_{02} \cdot \sin\beta_{02} \quad (41)$$

Dişlilerin nokta temasıyla çalışma alanları, diş başlarının çevrelediği bir mercek şeklini andırır. (Şekil.5.17) de $\delta_A = 90^\circ$ olan iki eğik dişlerin birbiriyle çalışan iki dişi göstermiştir.



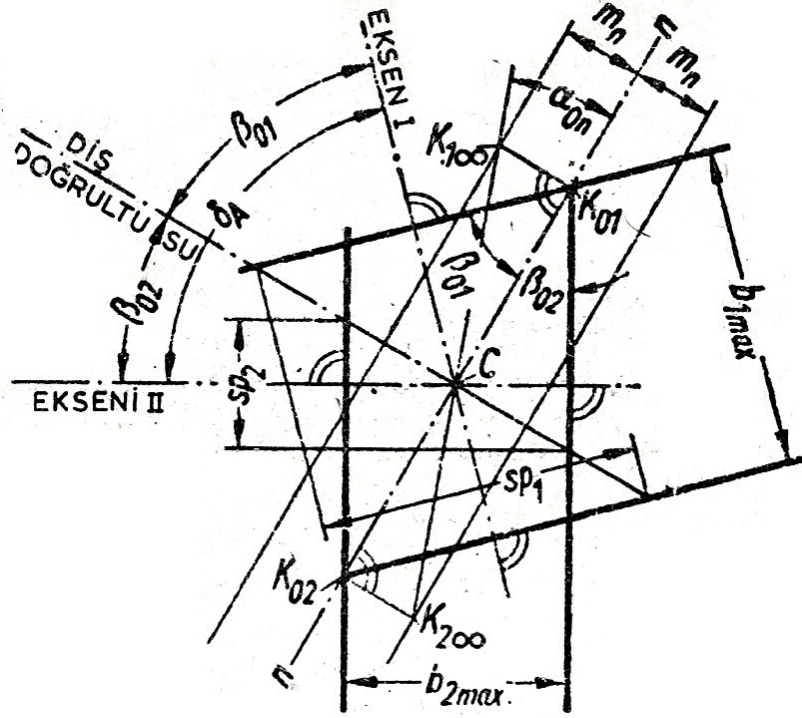
Şekil 5.17 Eğik dişlerde $\delta_A = 90^\circ$ için g_s kavrama boyu en küçük diş genişliği b_{min}

Her birinin alın kavrama doğrusu, ayrı ayrı kavrama açıları ile belirlidir. (α_{0a1} , α_{0a2}), kavrama boyu K_1 , K_2 noktaları ile belirlenmiş (g_{a1}) ve (g_{a2}) dir. Dişlerin bütün kavrama boyundan yararlanarak çalışabilmesi için, bu boyların dişli genişlikleri içinde kalması gerekir. Şu halde dişlilerin en küçük genişliklerinin,

$$b_{1min} = K_2 \cdot K_1 = 2 \cdot g'_{a2} \cdot \cos \alpha_{0a2}$$

$$b_{2min} = K_1 \cdot K_2 = 2 \cdot g'_{a1} \cdot \cos \alpha_{0a1} \quad (42)$$

olması gerekir. Rahat bir işleme için diş genişliklerinin min. genişliklerinden biraz daha büyük olması faydalı olur. Dişlilerin lüzumsuz fazla genişliklerini sınırlamak için, yeteri kadar bir genişlikte hesap edilebilir. Dişlilerin yuvarlanma kramayer düzlemindeki kavrama doğru parçasını sınırlayan K_1 , K_2 noktalarının (n-n) yuvarlanma doğrultusundaki izdüşüm noktaları K_{01} , K_{02} olsun. Bu noktaların I ve II dişli eksenlerine çizilecek dik, paraleller dişlilerin max. genişliklerini sınırlar.



Şekil 5.18 Eğik dişlilerde b_1 ve b_2 genişliklerinin tespiti

$$K_{01} \cdot K_{02} = mn / \operatorname{tg} \alpha_{on} \quad (43)$$

$$b_{1max} = K_{01} \cdot K_{02} \cdot \sin \beta_{01} = 2 \cdot mn \cdot \sin \beta_{01} / \operatorname{tg} \alpha_{on}$$

$$b_{2max} = 2 \cdot mn \cdot \sin \beta_{02} / \operatorname{tg} \alpha_{on} \quad (44)$$

genişlikleri arasındaki oran,

$$b_{1max} / b_{2max} = \sin \beta_{01} / \sin \beta_{02}$$

$$b_{1max} = b_{2max} \cdot \sin \beta_{01} / \sin \beta_{02} \quad (45)$$

diş hatveleri,

$$s_{p1} = b_{1max} \cdot \operatorname{tg} \beta_{01}$$

$$s_{p2} = b_{2max} \cdot \operatorname{tg} \beta_{02} \quad (46)$$

şekil 5.18 e göre kavrama oranı helisel alın dişlilerde olduğu gibi,

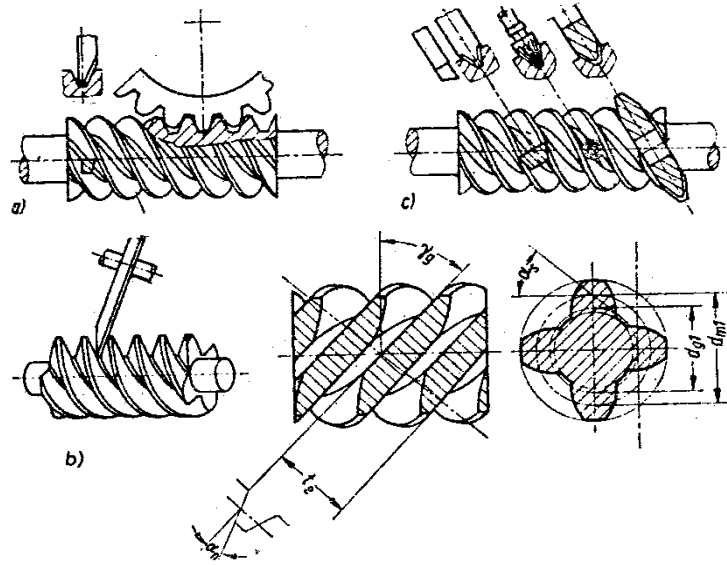
$$\epsilon_a = \epsilon_{at} + \epsilon_{ap} = (g_{a1} / t_{ea1}) + (s_{p1} / t_{ea2}) \quad (47)$$

Bu dişlilerde kavrama oranı yüksek olmasına rağmen diş çiftlerinde nokta teması olduğundan, büyük güçlerde kullanılmaları mukavemet bakımından sakıncalıdır. Daha ziyade hareket dişlisi olarak kullanılırlar.

5.4. Sonsuz Vida Dişli Grupları

5.4.1. Tarif

Eğik eksenli dişli çarklardan bir tanesinin dişlerini silindirin etrafını tamamen saracak şekilde (β_0) diş eğim açısını büyültürsek, çark aynen bir vida halini alır. Buna "Sonsuz Vida", diğer dişliye " Karşı Dişli Çark" adı verilir ve bu şekilde çalışan dişli gruplarına "Sonsuz Vida Dişli Grupları" denir. Diş temaslarının çizgisel oluşu, diş yanaklarındaki yüzey basıncını azaltır ve dolayısıyla daha yüksek mukavemet değerlerinde daha büyük güçler taşımak mümkün olur. Bunlardan başka sonsuz vida dişli çarklardan üstünlüğü, küçük diş sayılarında küçük hacimlerde imal edilebilirler, buna mukabil çok yüksek hız oranlarında ($i=50$ ye kadar) çalıştırılmaları mümkün olup, hassas bir imalat ve montajla verimleri %96 ya kadar çıkarılabilir. Sonsuz vidalar diş şekilleri bakımından aşağıdaki şekillerde imal edilirler (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 Sonsuz vida diş şekilleri Dın 3975' e göre

a)A formu b)N formu c)E formu

Spiral Sonsuz Vida : (ZA vida) (Şekil 5.19.1a.) Vida dişlerinin alın kesiti evolvent olmayıp bir arşimet spirali şeklinde teşkil edilmiştir. Kesici takım vida eksenine dik durumda çalışarak dişler açılır.

Yaklaşık Evolvent Vida : (Şekil 5.19.1b) (ZN vida)

Parmak veya modül frezesinde açılan vidadır. Kesici takım standart normal diş profilinde olup vida ekseninde normal düzlemde vida eğimi doğrultusunda tanzim edilir. Vida eksen kesitinde dişler hafif çukur, dişlere göre normal kesitte bombeli, diş boşluğuna göre normal kesitte düz görünürler.

Evolvent Sonsuz Vida : (Şekil 5.19.1c) (ZE vida)

Vidanın alın kesitinde (eksenine dik kesit) diş şekilleri evolvent olarak görünür. Kesici bıçak vida ekseninin (dışında evolvent çemberine (γ_g) vida eğimi açısında teğet durumda tanzim edilerek vida açılır. Aynen gergin bir ipin (γ_g) açısı altında bir silindir üzerine sarılması gibi. Temel çembere teğet düzlemle kesitinde dişler bir doğru olarak görünürler. Spiral vidada ise eksenden geçen bir düzlemle kesitte dişler doğru olarak görünürler.

5.4.2. Geometrik Büyüklükler

Sonsuz, vida dişli gruplarının büyüklüklerini eğik eksenli dişli çarkların özel durumlarındaki ($\gamma_A = 90^\circ$ $\beta_{01} = \gamma_{02}$ ve $\beta_{02} = \gamma_{01}$) formülleri ile ifade edebiliriz. (Şekil 5.20)

Bu büyüklükler 41 sayılı formülde toplanmıştır.

Vida ağız sayısı veya diş sayıları z_1, z_2

$$\text{Eksen açısı} \quad \gamma_A = \beta_{01} + \beta_{02} = \gamma_{01} + \gamma_{02} \quad (48)$$

$$\text{Eksen mesafesi} \quad a_0 = r_{01} + r_{02} \quad a_b = r_{b1} + r_{b2} \quad (49)$$

Hız oranı

$$i = w_1 / w_2 = n_1 / n_2 = z_2 / z_1 = r_{02} \cdot \sin \gamma_{02} / r_{01} \cdot \sin \gamma_{01} \quad (50)$$

Diş eğrilik açısı

$$\beta_{01} = 90^\circ - \beta_{02} = 90^\circ - \gamma_{01} \quad (51)$$

$$\cos \beta_{01} = \sin \beta_{02} = \cos \gamma_{02}$$

vida eğim açısı

$$\gamma_{01} = 90^\circ - \gamma_{02} = 90^\circ - \beta_{01} \quad (52)$$

$$\cos \gamma_{01} = \sin \gamma_{02} = \sin \beta_{01}$$

$$\gamma_{01} = \beta_{02} \quad \beta_{01} = \gamma_{02}$$

Normal kesitte modül (kesici takım modülü)

$$m_n = m_{01} \cdot \cos \gamma_{01} = m_{s1} \cdot \sin \gamma_{01} \quad (53)$$

Vida eksen modülü

$$m_{a1} = m_n / \cos \gamma_m = m_n / \sin \gamma_{02} = m_n / \sin \beta_{01} = m_{s2} \quad (54)$$

Vida hatvesi

$$H_1 = z_1 \cdot t_{0a1} = z_1 \cdot t_{0s2} = z_1 \cdot \pi \cdot m_{s2} \quad (55)$$

Vida eğim açısı

$$\gamma_0 = 90^\circ - \beta_0, \quad \text{tg } \gamma_{01} = H_1 / (2 \cdot \pi \cdot r_{01}) \quad (56)$$

Karşı çark alın modülü

$$m_{s2} = m_{01} = d_{01} \cdot \text{tg } \gamma_{01} / z_1 \quad (57)$$

Vida bölüm çemberi çapı

$$d_{01} = z_1 \cdot m_{s2} / \text{tg } \gamma_{01} = z_1 \cdot m_n \cdot \cos \beta_{01} = z_1 \cdot m_{s1} \quad (58)$$

Karşı çark bölüm çemberi çapı

$$d_{02} = z_2 \cdot m_n / \cos \beta_{02} = z_2 \cdot m_{s2} \quad (59)$$

Karşı çark dış üstü çapı

$$d_{a2} = 2 \cdot r_{a2} \approx r_{02} + 3 \cdot m_n \quad (60)$$

Diş başı yarıçapı

$$r_k = r_0 + m_n \quad (61)$$

Diş dibi yarıçapı

$$r_f = r_0 - (m_n + s_k) \approx r_0 - 1,2 \cdot m_n \quad (62)$$

Temel çember yarıçapı

$$r_g = r_0 \cdot \cos \alpha_{os} \quad (63)$$

temel çember dış eğim açısı (γ_g)

$$\text{tg } \gamma_{g1} = H_1 / (2 \cdot \pi \cdot r_{g1}) = H_1 / (2 \cdot \pi \cdot r_{01} \cdot \cos \alpha_{os1}) \quad (64)$$

Bunların gerçekleştirilmesi için sonsuz vida imal edilir ve açıkta bir ölçü pleytini üstünde karşı çarkla olan çalışma durumu, ölçüleri kontrol edilir, gerekirse sonsuz vida taşlanarak tashih edilir. Aksi takdirde işletme şartları da göz önüne alınarak yerine getirilemeyen imalat ve montaj hatalarının neticesinde sonsuz vida dişli gruplarını uzun müddet işletmek mümkün olamaz.

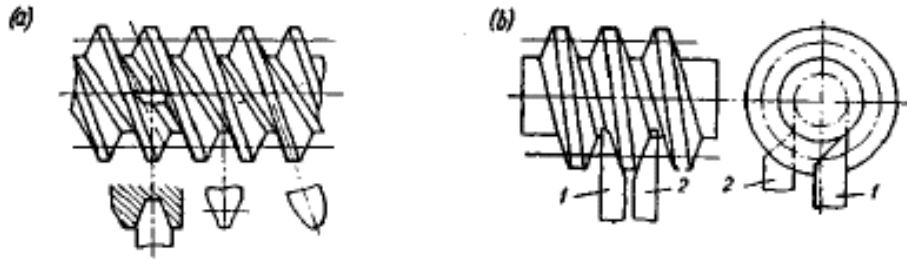
6. SONSUZ VİDA İMALAT METODLARI

Sonsuz vida-dişli çiftinin iki elemanı, eksenleri bir birlerine göre dik konumda olan sonsuz vida ve sonsuz vida dişlisidir. Kullanılacak sistemin hassasiyeti ve hız durumuna bağlı olarak sonsuz vidalar 4 ayrı yöntemle imal edilirler.

- a) Düz kenarlı Sonsuz Vidalar
- b) Modül Çakı ve Azdırma ile Açılan Sonsuz Vidalar
- c) Evolvent Profilli Parmak Frezelerle Açılan Sonsuz Vidalar
- d) Bilgisayar Programlama yöntemiyle Açılan Sonsuz Vidalar

6.1. Düz Kenarlı Sonsuz Vidaların İmalatı

Silindirik sonsuz vidanın içinde en yaygın olarak kullanılanı, eksenel kesitte düz kenarlı dişleri bulunandır, bu trapez dişli vidayı andırır. Bu sonsuz vidanın helis yüzeyi, sonsuz vida eksenine göre eğimli bir doğrunun bu eksen etrafında döndürülmesi ve aynı anda ileri doğru yürütülmesiyle elde edilir. Sonsuz vida ekseninden geçen düzlem üzerinde vida dişi trapez şeklindedir (şekil 6.1a-b). Bu tip sonsuz vidanın kullanıldığı sonsuz vida dişli çiftlerinde verim düşük olduğu için bunlar çok hızla aşınırlar. Bu nedenle bunlar kritik olmayan, düşük hız ve küçük yük şartlarının gerektiği dişli düzenlerinde kullanılırlar.



Şekil 6.1 Düz kenarlı sonsuz vidaların imalatı

Taban silindirinin çapı arttıkça, kesim açılarındaki değişimler nedeniyle torna kalemlerinin merkezin üstünde ve altında ayarlanmalarında bazı güçlüklerle karşılaşılır. Bu nedenle evolvent sonsuz dişliler işlenirken sonsuz vida dişine normal kesit düzlemindeki profile sahip profil kalemleri kullanılır. Kalemın yüzü sonsuz vida dişine normal bir kesit içerisinde ayarlanır.

Vida dişine normal kesit içerisinde düz kenarlı dış yan yüzleri bulunan sonsuz vidalar, düz kesici ağızlarının biri merkezin yukarısında diğeri aşağısında olmak üzere vida dişine normal düzlem içerisinde ayarlanmış torna kalemleriyle işlenirler. Böyle sonsuz vidalar, genellikle her biri dişin bir yüzü için olmak üzere iki torna kalemiyle işlenirler

6.2. Modül Çakı ve Azdırma İle Sonsuz Vidaların İmalatı

Silindirik sonsuz vidanın bir diğeri tipi de *evolvent sonsuz* vidadır. Bu,yan yüzleri,helikoit diye adlandırılan helisel yüzeyler şeklinde vida dişlerine sahiptir.Diş yan yüzünün eksene dik düzlemle kesişme çizgisi bir evolventtir.Bu,sonsuz vidaya ismini vermiş bulunmaktadır. Çok çeşitli sonsuz vidalar, basit dişli azdırma tezgahlarında azdırma çakılar kullanılarak veya modül çakı yardımıyla işlenirler.

Vida diş profillerinde eğrisel kesici ağızlan bulunan azdırma çakılar ve modül çakılar sonsuz vida imalatında kullanılırlar. Bu sonsuz vida imalat şekli pahalı azdırma çakılarını ve modül çakılarını gerektirir. Bununla çok sıhhatli diş profillerinin elde edilmesi garanti edilemediğinden sadece kaba işlemlerde uygulanır. Bu imalat yöntemlerinde tablo 6.1 de belirtilmiş olan 8’li veya 15’li modül freze grupları kullanılmaktadır. İmalatı yapılacak olan sonsuz vidaya en yakın modül çakı seçilir. Ancak bu grubun ara değerleri en yakın olan seçilerek işlem yapılır. Böylece sağlıklı bir sonsuz vida imalatı sağlanamamış olur.

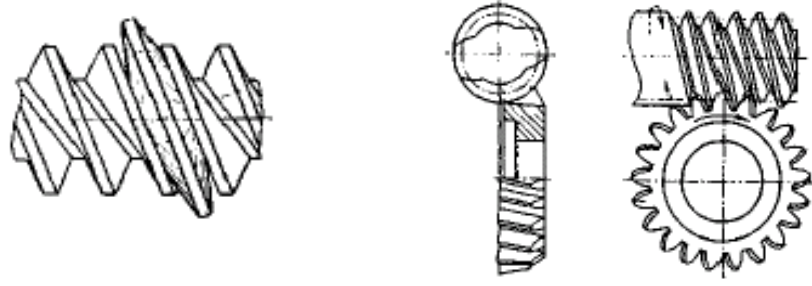
TABLO 6.1 Modül freze çakısı grupları

8 ÇARKLIK SERİ

Çakı Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8
Diş Sayıları	135 ∞	55 134	35 54	26 34	21 25	17 20	14 16	12 13

15 ÇARKLIK SERİ

Çakı No:	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8
Diş Sayısı	13 5 ∞	80 134	55 79	42 54	35 41	30 34	26 29	23 25	21 22	19 20	17 18	15 16	14	13	12



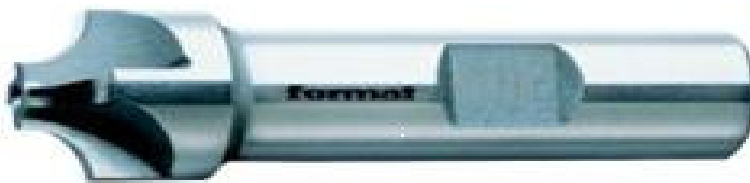
Şekil 6.2. Modul çakı ve planya tezgahında sonsuz vida imalatı

Yüksek üretkenliği olan ve sonsuz vidada yüksek hassasiyeti garanti eden metotlardan birisi de, sonsuz vidayı özel bir takım tezgahında döner planya çakısının aynı olan bir kesici takımla türetme yoludur. Sonsuz vida kaba parçasının ekseninden geçen bir düzlem içinde ayarlanan kesici, sonsuz vida eksenine paralel bir düz doğrusal ilerleme hareketi yapar. Bunun yanında kesici ve sonsuz vida kaba parçası kendi eksenleri etrafında ve birbirlerine göre zamanlanmış bağıl dönüş hareketi yaparlar. Bu hareketlerin sonucu olarak sonsuz vida türetilmiş olur.

Bu sonsuz vida türetme metodu sonsuz vida diş profiline bozulmasına neden olmaz. Bu metot çok sıhhatli ve üretkendir. Tek dezavantajı, işlenecek sonsuz vidaların her bir helis açısı için ayrı bir kesici takımın gerekmesidir. Bu nedenle sonsuz vida üretme işlemi sadece büyük parti ve seri imalat şartlarında ekonomik olmaktadır.

6.3. Evolvent Profilli Parmak Frezeler İle Sonsuz Vidaların İmalatı

Yüksek hız ve yüksek hassasiyet şartlarında çalışacak olan sonsuz vidaları işlemek için diğer bir yolda evolvent diş profili verilmiş parmak frezeler kullanılmaktadır. Bu yöntemde çift konikli parmak freze sonsuz vida üzerinde adıma bağılı olarak işlem tamamlanır. Bu işlemde de her bir modül için ayrı parmak freze kullanmak gerekmektedir. Freze çakısı silindirik, uç tarafı dış boşluğunca uygun profile dönük cisimdir. Düz parmağa benzemesinden ötürü parmak freze çakısı adı verilmiştir. Freze tezgâhında dik olarak dişliye göre radyal doğrultuda dönme hareketi yaparak çalışır. Uç tarafındaki kesici bıçaklar dış boşluğunu aynen freze çakısıyla dişli imalatında olduğu gibi dişli taslağını ilerleme hareketi ve adıma bağılı sonsuz vida taslağının dönme hareketiyle meydana getirir



Şekil 6.3. Evolvent Profilli Parmak Frezeler

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Dış Profilinin Parametrik Denklemlerinin Türetilmesi

Evolvent zarf profilinin elde edilmesi için gerekli parametrik ifadeler aşağıdaki gibi verilmiştir.

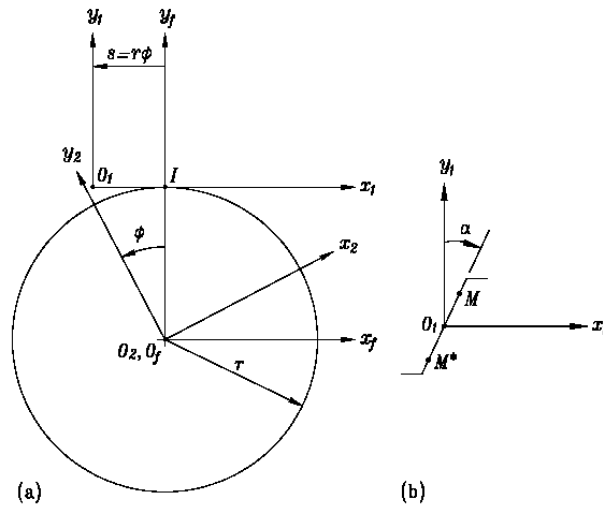
Toplam yüzeyinin oluşumu S_1 koordinat sisteminde aşağıdaki gibi gösterilir.

$$r_1(u, \theta) \in C^1, \frac{\partial r_1}{\partial u} \times \frac{\partial r_1}{\partial \theta} \neq 0, (u, \theta) \in E. \quad (67)$$

Evolvent zarf profili üzerindeki noktaların anlık yarıçapı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$r_2(u, \theta, \phi) = M_{21}(\phi).r_1(u, \theta) \quad (68)$$

Yine $M_{2,1}$ olarak verilen ifade ise S_1 den S_2 ye dönüşüm koordinat matrisidir.



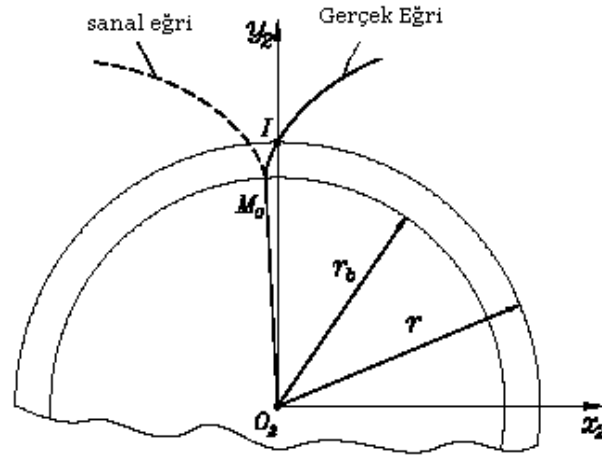
Şekil 7.1. Dönüşüm Koordinat Sistemleri

$$r_1(\theta) = [\theta.\sin \alpha \quad \theta.\cos \alpha \quad 0 \quad 1]^T \quad (69)$$

Burada r_1 temel dairesi yarıçapıdır. Yine buradaki dönüşüm koordinat matrisi ise aşağıdaki gibi türetilir.

$$M_{21}(\phi) = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 & r.(-\phi.\cos\phi+\sin\phi) \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 & r.(\phi.\sin\phi+\cos\phi) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (70)$$

(3) ve (4) matrisleri çarpılırsa elde edilen ifadeler Evolvent zarf profili üzerindeki noktaların parametrik ifadeleridir.



Şekil 7.2 Gerçek ve sanal evolvent profilleri

Şekil 2'deki r yarıçapının parametrik ifadeleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$x_2 = r.\sin\phi - r.\phi.\cos\alpha.\cos(\phi + \alpha) \quad (71)$$

$$y_2 = r.\cos\phi + r.\phi.\cos\alpha.\sin(\phi + \alpha) \quad (72)$$

Yine yukarıdaki denklemlerden evolvent zarf profili üzerindeki noktaların anlık yarıçapı olan r_2 hesaplanabilir.

$$r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad (73)$$

Burada kullanılan α dişli çarklarda kullanılan profil kaydırma faktörüdür. Yine buradaki r dişli çarklardaki Evolvent profilinin başlangıç yarıçapının basınç açısı ile çarpımından elde edilir (8).

$$r = r_0 \cdot \cos 20 \quad (74)$$

Yine bilindiği gibi düz dişli çarklarda bölüm dairesi yarıçapı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$r_0 = m \cdot z / 2 \quad (75)$$

Düz dişli çarklarda temel dairesi yarıçapı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$r_t = r - (1.166/2) \cdot m \quad (76)$$

Diş üstü dairesi çapı ise;

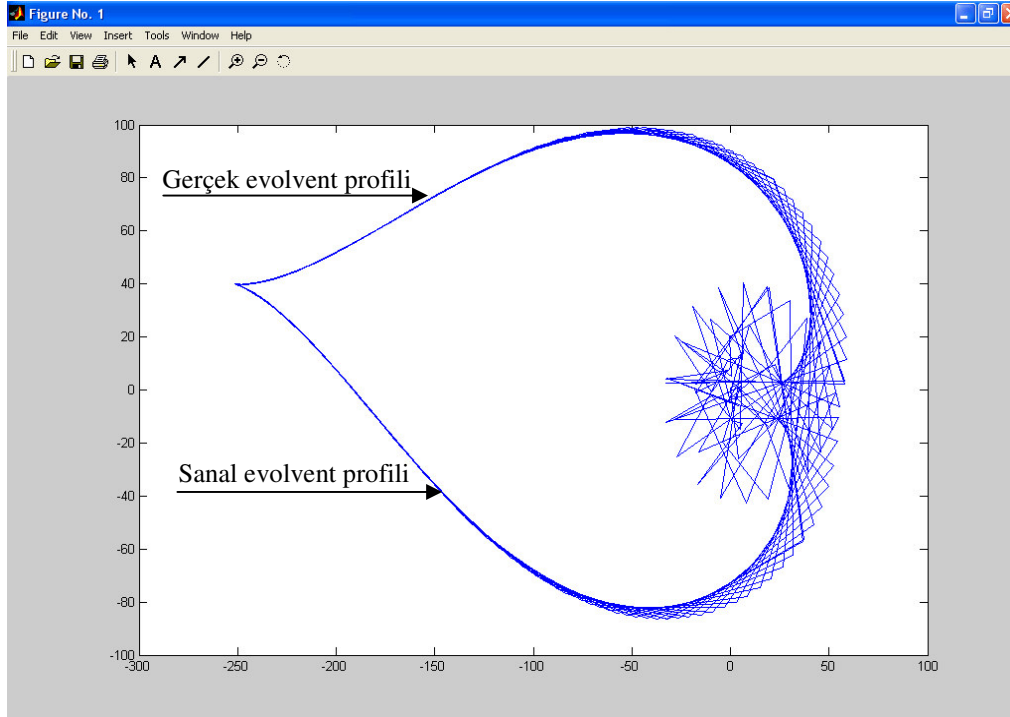
$$r_a = r_0 + m/2 \quad (77)$$

Evolvent profilinin çizilmesi için merkezdeki ϕ açısının max. değeri düz dişli çarklarda aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\phi_{\max} = \arccos(r_a / r) \quad (78)$$

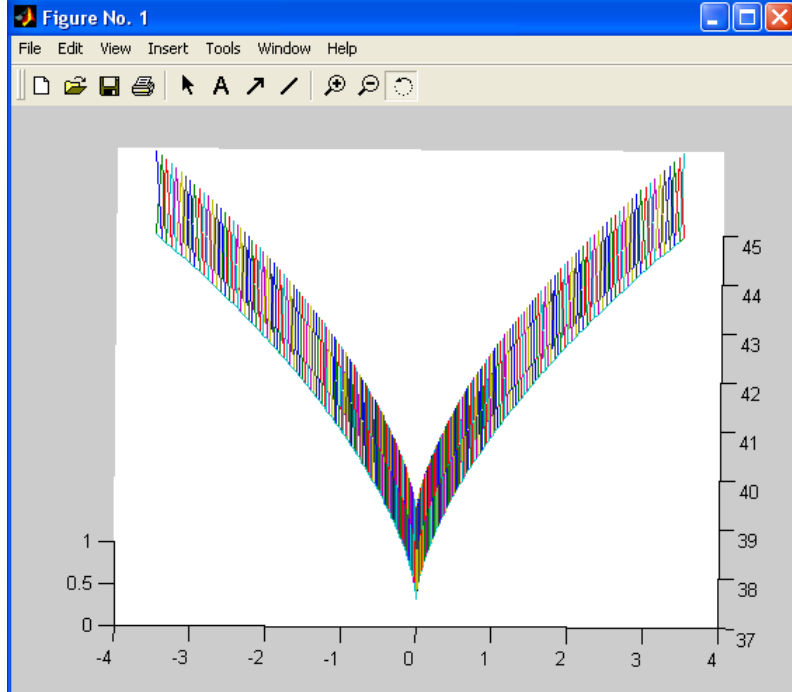
$$\phi_{\max} \text{ sınır şartları } 0 < \phi_{\max} < 180$$

Yine Evolvent profilinin ana denklemleri için maksimum açısı olan (71-72) denklemi ile belirlenmeyip 360° derece ye kadar çizdirildiği zaman Şekil 7.2 de belirtilen gerçek ve sanal diş profilleri aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi elde edilir (Şekil 7.3).



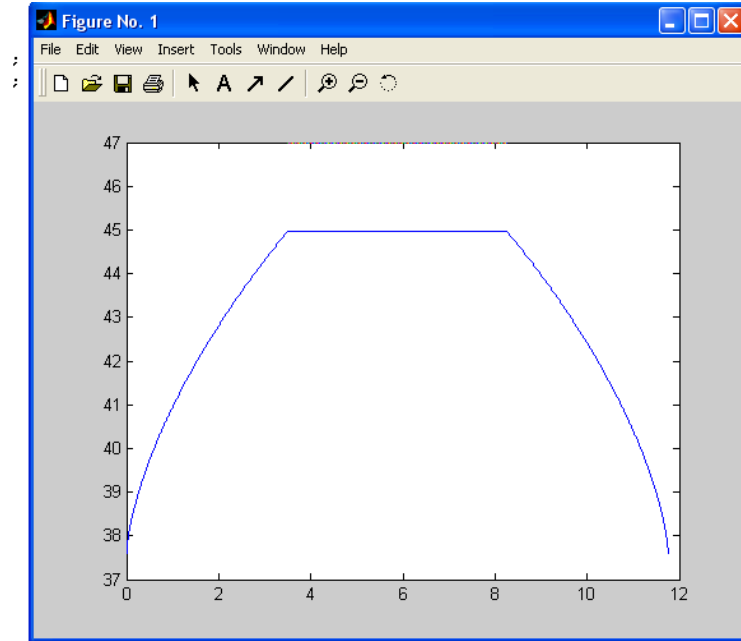
Şekil 7.3. Gerçek ve sanal evolvent profilleri

Şekil 7.3 de belirtilen ve 360 derecelik açıda incelenen sanal gerçek ve sanal diş profilleri, 3 boyutlu ortamlarda incelendiğinde ve açı (ϕ_{max}) sınırlandırıldığında sanal ve gerçek diş yüzeyleri ortaya çıkmış olur. (78)



Şekil 7.4 Sanal ve gerçek evolvent yüzeyleri

Yukarıda verilen [66-78] denklemleri yardımıyla MATLAB 6.5 programında bir diş profilinin elde edilebilmesi için sağ ve sol evolvent profilleri oluşturuldu.



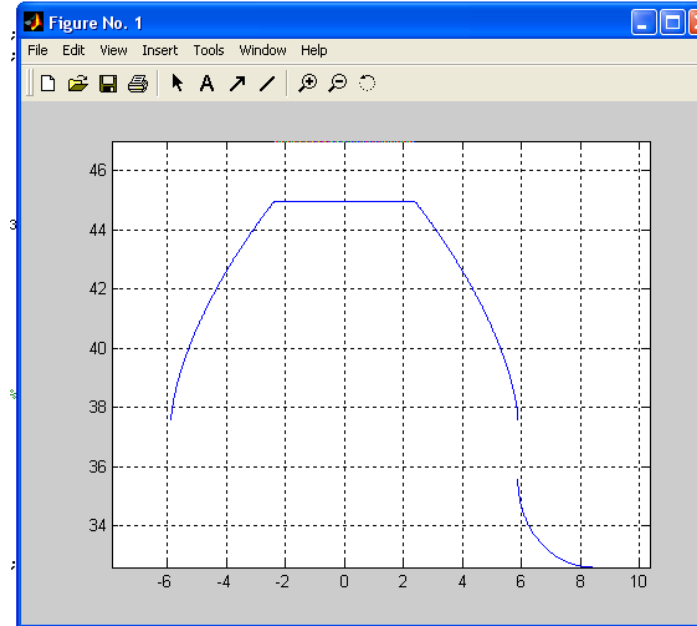
Şekil 7.5 Bir diş profilinde sağ ve sol evolvent profilleri

Bu diş profilinin diş dibi düzlüğü düz olarak birleştirilebildiği gibi sikloid eğrilerle de birleştirilebilmektedir.

$$x=r \cdot i - r_u \cdot \sin(i) \quad (79)$$

$$y=r - r_u \cdot \cos(i); \quad (80)$$

yukarıda [79,80] formülleri yardımıyla diş dibi sikloid eğrisi elde edilmiş olur.



Şekil 7.6 Diş dibi sikloid eğrisinin oluşturulması

Oluşturulan bir diş profili bir düz dişli çark üzerinde yukarıda belirlenen para metrik ifadeler kullanılarak dişli çarkın CAD modelini elde edecek ve bu model üzerinden CAM kodlarını türetebilecek algoritma aşağıdaki gibi hazırlandı.

Adım 1. Dişli çarkın merkezinden (74) denklem ile belirlenen nokta doğrusal olarak birleştirildi (OA).

Adım 2. Daha sonra da diş dibi ve diş üstü arasındaki maksimum açı denklem (78) yardımıyla belirlenip Evolvent profilin parametrik denklemleri açısal hassasiyete bağlı olarak açısal artımlarla diş üstü noktasına gönderildi (AB).

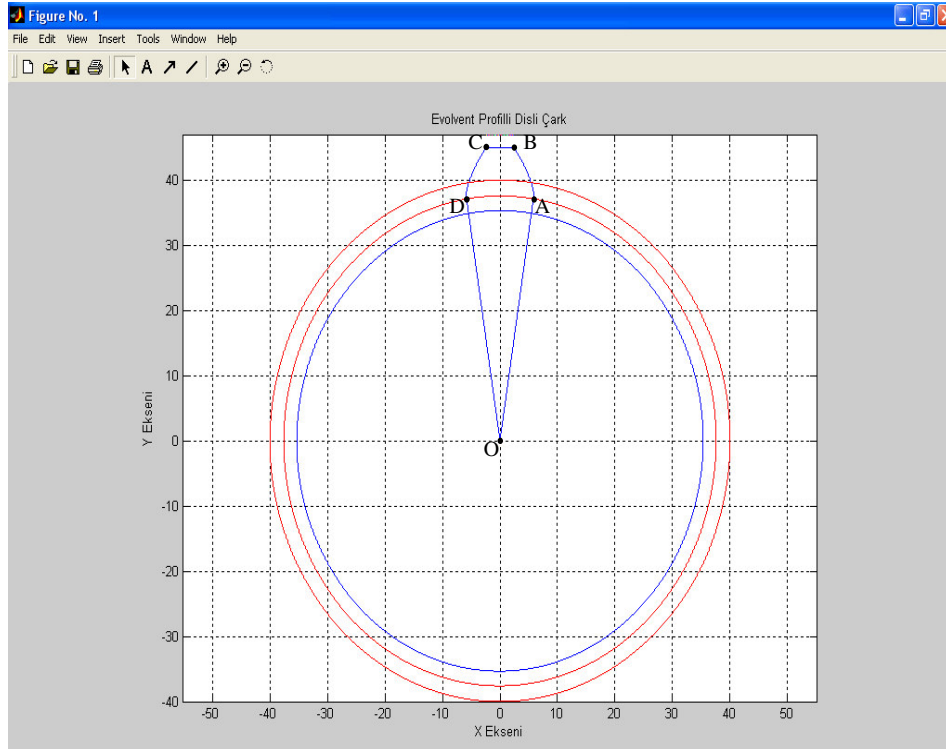
Adım 3. Sağ ve sol Evolvent zarfları arasında kalan (BC) noktaları doğrusal bir ilerleme ile birleştirildi.

Adım 4. Dişlinin sol Evolvent zarfı profili ise daha önce den belirlenen maksimum açıdan sabit açısal ilerlemelerle yine Evolvent profilin parametrik denklemleri yardımıyla D noktasına gönderildi.

Adım 5. Daha sonra D noktası dişlinin O dönme merkezi ile doğrusal olarak birleştirildi.

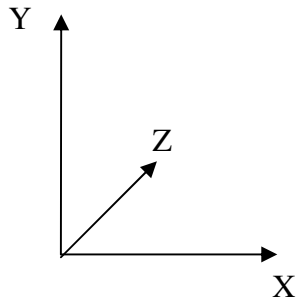
Yukarıdaki algoritma ile bir diş profilinin 2 boyutlu CAD modeli edilirken bir yandan da dişlinin CAM kodları kullanıcı tarafından belirlenen dosyaya yazdırıldı.

Yukarıda verilen algoritmaya bağlı olarak yazılan program çalıştırılmış ve dişlini bir diş profilinin 2 boyutlu CAD modeli aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

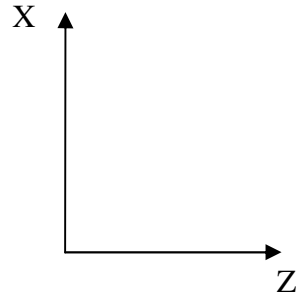


Şekil.7.7 Bir diş profilinin 2 boyutlu CAD modeli

Elde edilen düz dişli CAD ve CAM programlarının CNC torna tezgahına uygulanabilmesi için eksenler dönüştürüldü. Kutupsal koordinatlarda Freze tezgahındaki X eksenini Z eksenine olarak Y eksenini de X eksenine olarak değiştirildi.

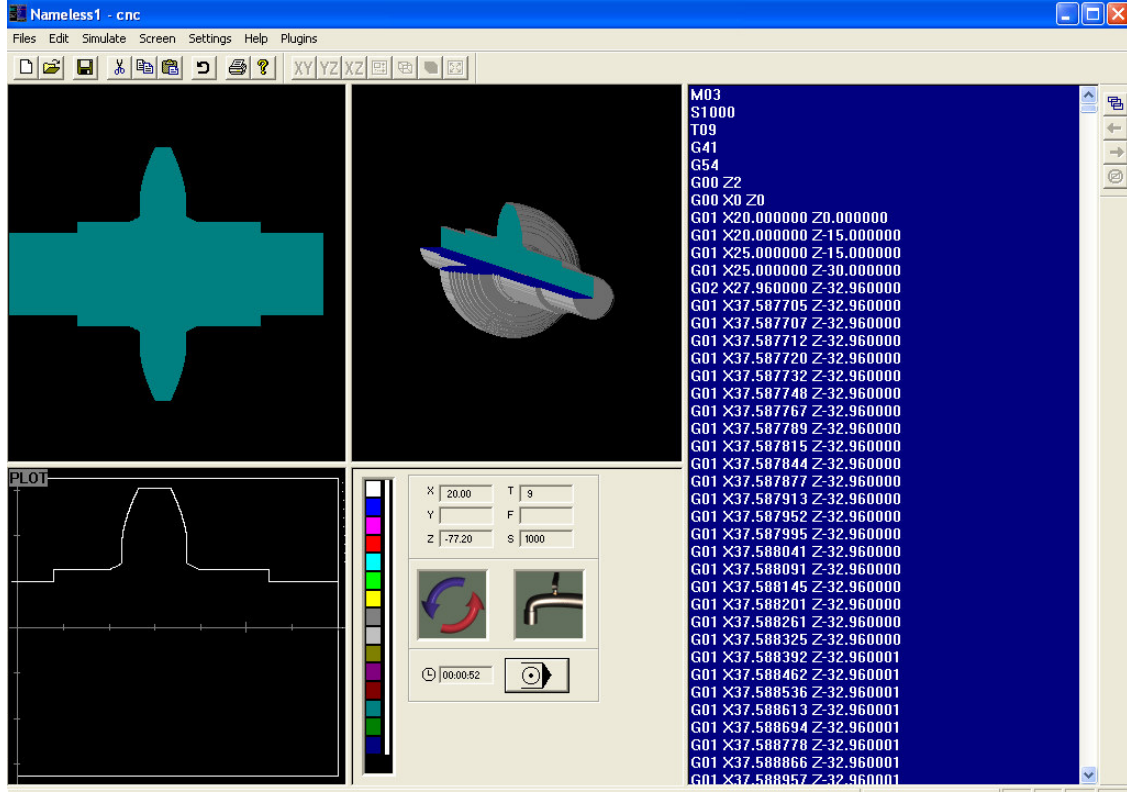


Şekil 7.8 Freze tezgahı eksenleri



Şekil 7.9 Torna Tezgahı Eksenleri

Elde edilen bir diş profilinin CNC torna tezgahında elde edilmesi için gerekli CAM kodları hazırlandı ve CNC Simulator programında işlendi. Böylece programın çalışması ve doğruluğu ispatlanmış oldu.



Şekil 7.10 CNC Simulator programında bir diş profilinin elde edilmesi

7.2 Deney Düzenekinin Hazırlanması

Elde edilecek olan evolvent profillerinin her iki yüzeyinin aynı çakıyla işlenmesi, işlem sırasında çakı değiştirilmemesi ve dişli çark diş dibine rahatlıkla girebilmesi için keski kalemi kullanılmıştır.

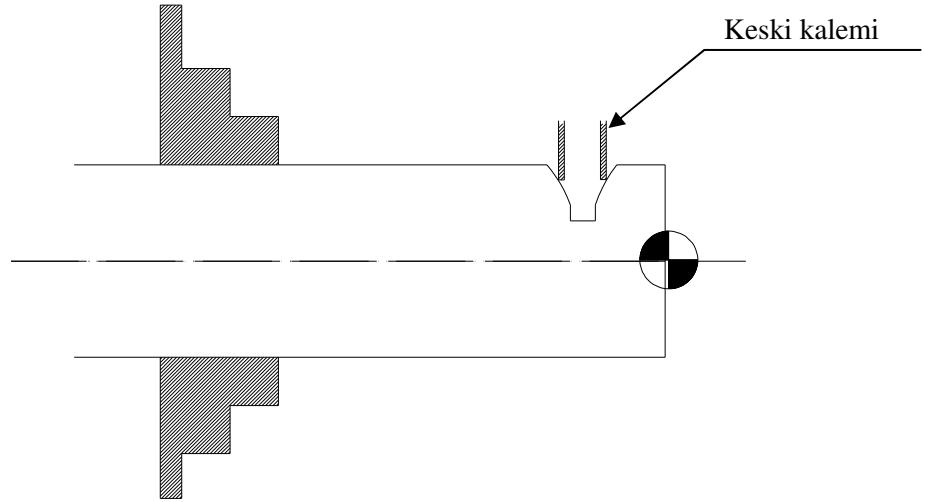
Ancak keski kalemi ile çalışılırken görülmüştür ki vida adımının büyük olması nedeniyle çakının arka yüzeyi parça yüzeyine temas etmektedir. Buda diş dibine yaklaştıkça çakıda büyük zorlanmalara neden olmakta ve çakının kırılmasına sebep olmaktadır. Bu sorun keski kalemine açı vermek suretiyle giderilmiştir.

Sonsuz vida dişli çarkının işlenmesi için taslak

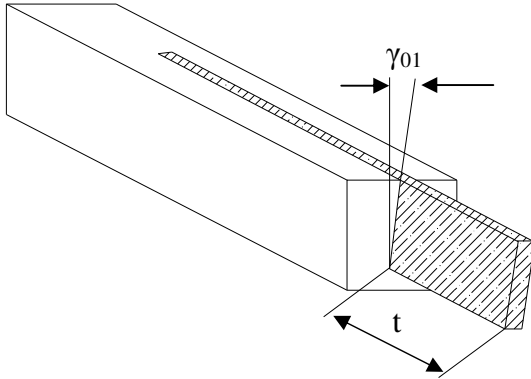
Modül (M) = 8

Karşı dişli çark diş sayısı (Z) =10

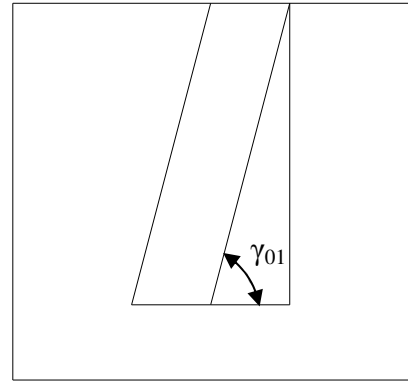
Vida boyu (L) = 100 mm. Değerleri ile belirtilen dişli taslağı hazırlanarak işleme yapılmıştır.



Şekil 7.11 Keski kaleminin konumu



Şekil 7.12 Katerin gösterimi



Şekil 7.13 Kalem açısının gösterimi

(54) nolu formülde vida adımı

$$H_1 = z_1 \cdot \pi \cdot m_{s2} = \pi \cdot 8 = 25,132$$

(55) nolu formülde değerler yerlerine konulursa

Vida eğim açısı

$$\gamma_0 = 90^\circ - \beta_0, \quad \text{tg } \gamma_{01} = H_1 / (2 \cdot \pi \cdot r_{01})$$

$$\text{tg } \gamma_{01} = H_1 / (2 \cdot \pi \cdot r_{01}) = 25,132 / (2 \cdot \pi \cdot 22) = 0,1818$$

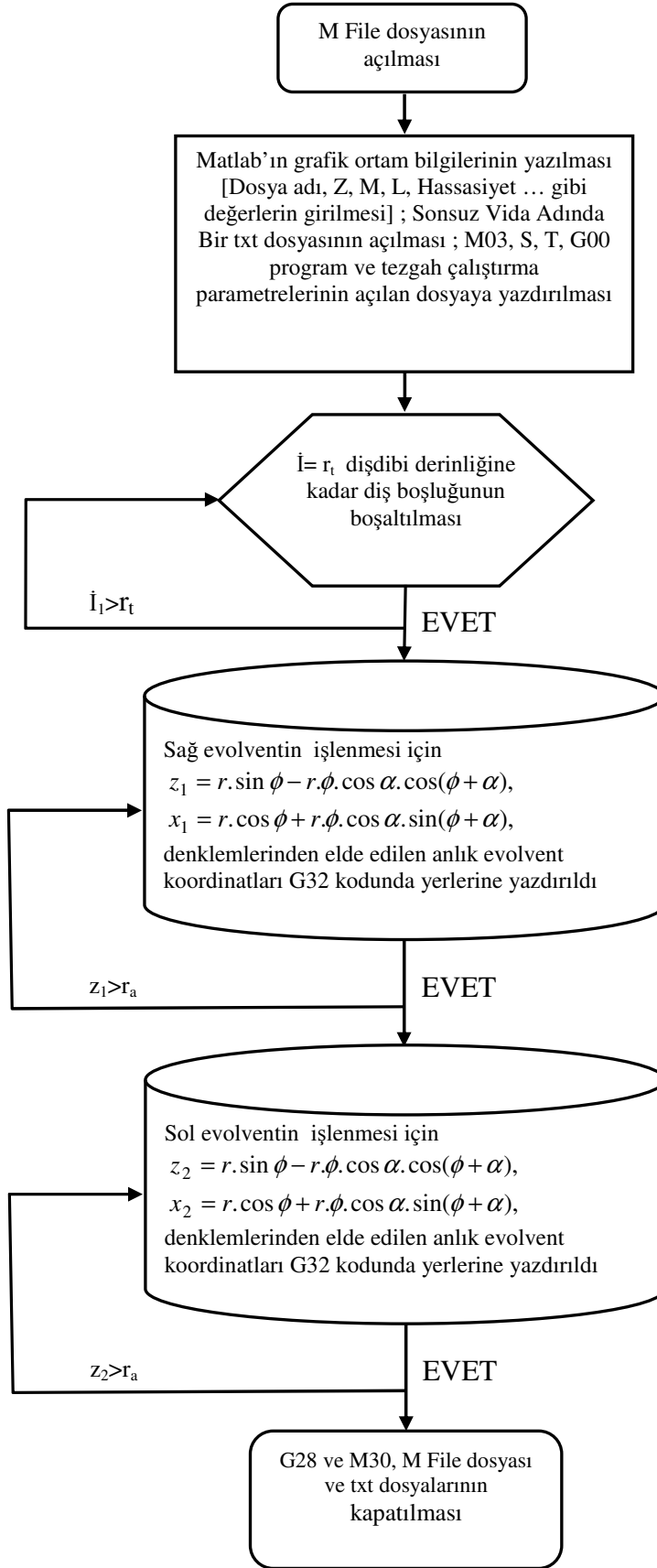
$\gamma_{01} = 10,3^\circ$ olarak bulunur. α açısı ise $90 - \gamma_{01}$ olarak alınır

$$\alpha = 90 - \gamma_{01} = 90 - 10,3 = 79,7^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

Burada t çakı boyu, diş derinliğine bağlı olarak

$$H = 2.166 \cdot M = 2.166 \cdot 8 = 17,328 \text{ den büyük alınmalıdır.}$$

Çıkarılan formüllere göre boyutlandırılan sonsuz vida dişli çarkının işlenmesi için oluşturulan MATLAB programının akış diyagramı Şekil 7.14 de verilmiştir.



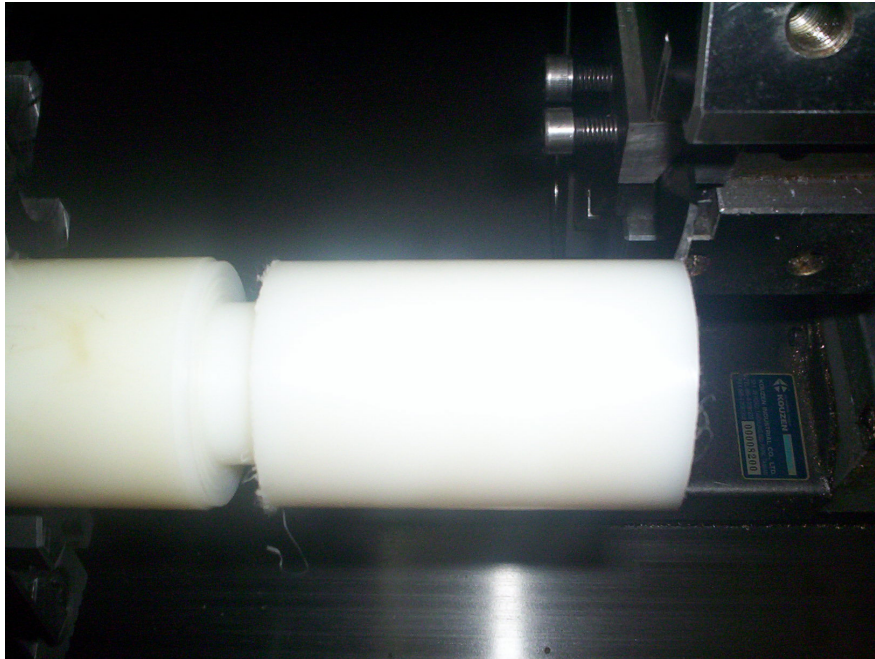
Şekil 7.14 Sonsuz Vida Dişlisinin CNC kodlarının türetimi için gerekli akış diyagramı

MATLAB programı çalıştırarak elde edilen metin belgesi olarak yazılmış olan bu kodlar CNC torna tezgahına aktarılarak dişli taslağının işlenmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonsuz vida dişli çarkının resmi şekil 7.15 de gösterilmiştir. Sonsuz vida dişli çarkının işlenebilmesinde görülmüştür ki parça hassasiyetine ve CNC devir sayısına bağlı olarak işleme zamanı değişmektedir.

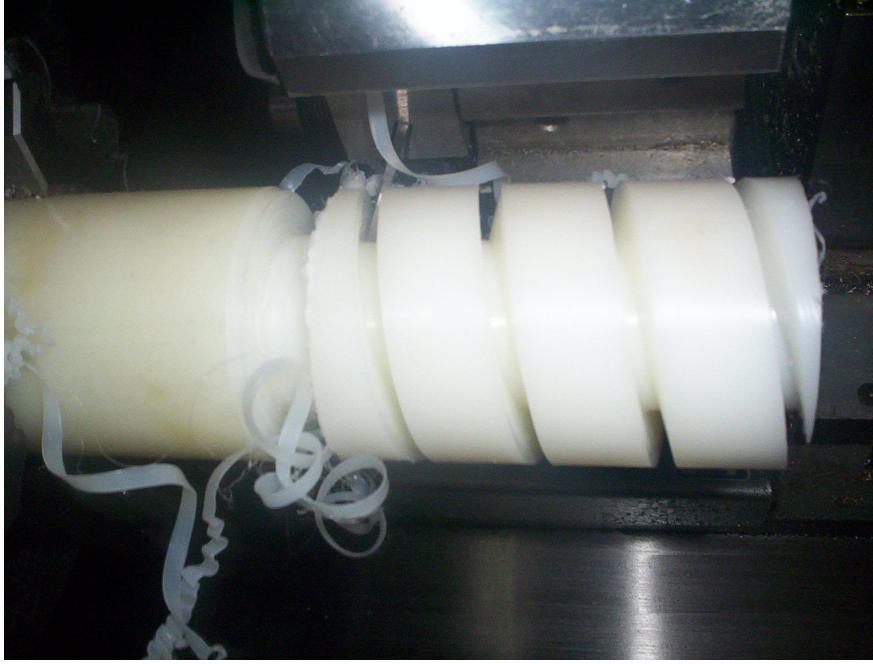
L= 100 mm. olan tek ağızlı bir sonsuz vida dişli çarkının işlenmesi için işleme zamanları tablo 7.1 de belirtilmiştir.

Tablo 7.1 Açısal hassasiyete bağlı işleme zamanları

Açısal Hassasiyet (Derece)	Tezgah Devri (dev/dak.)	İşleme Zamanı
0.01	100	479 dk 10 sn.
0.05	100	92 dk. 20 sn.
0.1	100	47 dk.
0.2	100	23 dk. 40 sn.
0.3	100	15 dk. 35 sn.
0.4	100	11 dk. 40 sn.
0.5	100	7 dk. 40 sn.
1	100	4 dk. 40 sn.
2	100	2 dk. 18 sn.

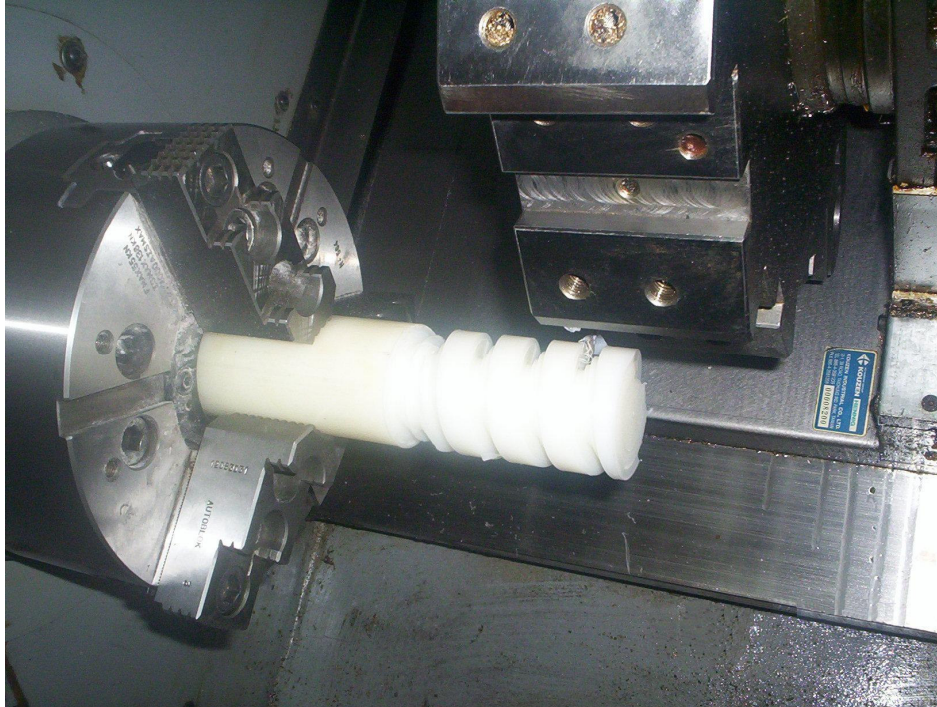


Şekil 7.15 Sonsuz vida taslağının hazırlanması

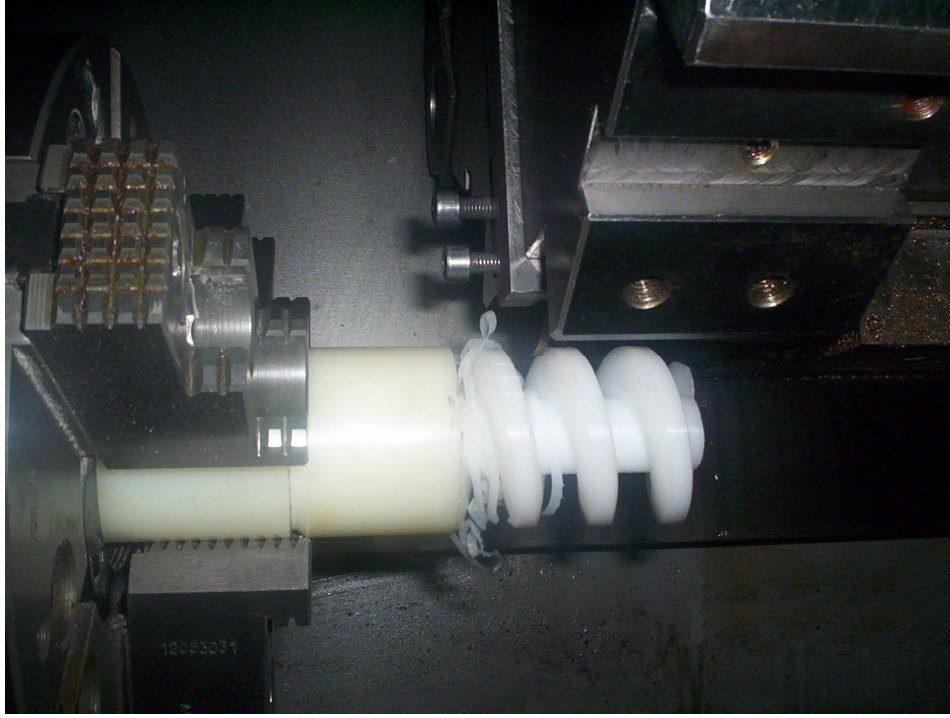


Şekil 7.16 Sonsuz vida diş boşluğunun boşaltılması

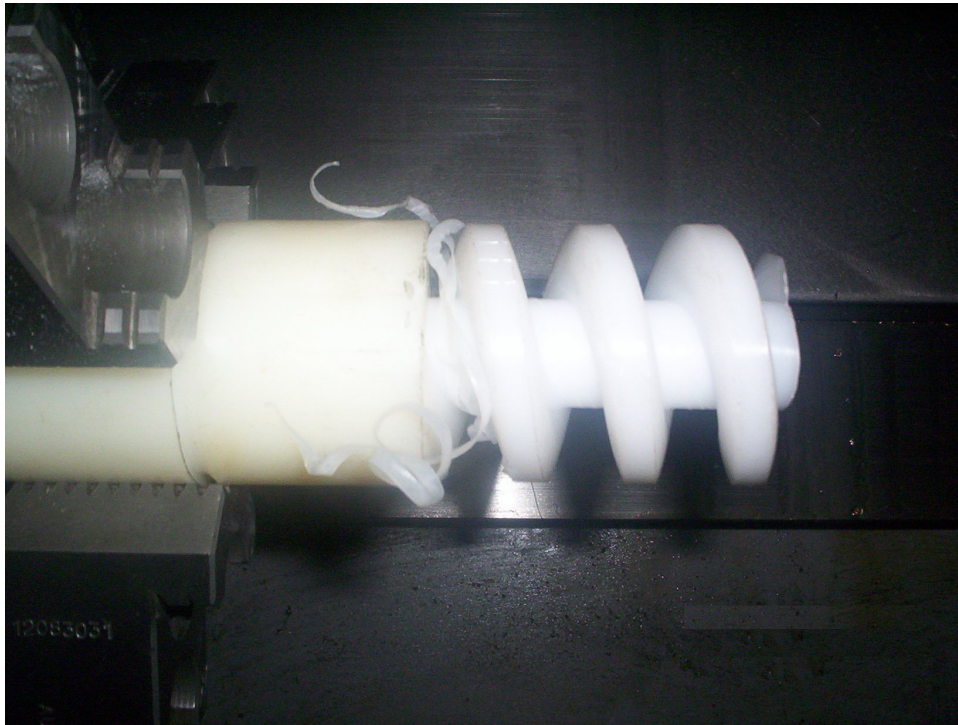
Şekil 7.16 da sonsuz vida dişli çarkının işlenmesi öncesi diş boşluğunun keski kalemi vasıtasıyla boşaltılması esnasındaki tezgah görüntüleri verilmektedir. Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 de ise işlene sonsuz vida dişli çarkının sağ ve sol evolvent profillerinin oluşturulması gösterilmiştir.



Şekil 7.17 Sonsuz vida sağ evolvent profilinin İşlenmesi



Şekil 7.18 Sonsuz vida sol evolvent profilinin İşlenmesi



Şekil 7.19 Sonsuz vida

8. SONUÇLAR

Bu araştırmada 2 eksenli CNC torna tezgahında evolvent profilli sonsuz vida dişli çarkı işlemiştir. Modül ve ağız sayısına bağlı işleme şekilleri araştırılmıştır. Ayrıca evolvent profil gibi veya başlıca matematiksel ifade edilebilen eğrilerin CNC tezgahlarında işlenebilirliği incelenmiştir. Bu araştırma sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Matematiksel olarak ifade edilebilen eğrilerin 2 eksenli CNC tezgahlarında işlenebilirliği ortaya konmuştur.
- Sanayide yüksek maliyetli özel tezgah, aparat ve çakı yardımıyla imal edilebilen sonsuz vidanın istenilen hassasiyette işlenebilirliği ortaya konmuştur. Sanayide her bir modül ve karşı diş sayısına, eğri yüzeyinin değişmesinden dolayı ayrı ayrı (Tablo 6.1) 8’li veya 15’li modül çakısı bulundurmak gerekmektedir. Bu çalışmada özel çakılara ihtiyaç duyulmadan imalatı sağlanmıştır.
- Kater açılarını değiştirmek suretiyle istenilen ağızda sonsuz vida açılabilir.

Yapılan bu tez çalışmasının ardından yapılması mümkün olan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

- İki eksenli torna tezgahında modül çakı ve azdırma çakısı imalatının araştırılması.
- Ağız sayısı ve modüle bağlı olarak değişen kater imalatı yapılmıştır. Bu sorunu gidermek için uygun kalem ve kater şeklinin belirlenmesi.
- Elde edilen program açısal hassasiyete bağlı olarak çok uzun bir program oluşturmaktadır. CNC tezgahına atılması için uygun program bulunamaz ise büyük sorun teşkil edebilmektedir. Bu sorunu gidermek için makro program olarak yazılabilir.

9.KAYNAKLAR

1. C. ÖZEK, C. ÖZEL, (2002) “Dikey İşleme Merkezli CNC Freze Tezgahlarında Makro Programlar Kullanılarak Düz Dişlilerin İmalatı”, Mühendis ve makine, sayı 512,
2. Özel, C., Savaş, V., “ CNC Freze Tezgahlarında Denklemi Bilinen Şekillerin Makro Programlama İle İmalatlarının Araştırılması”, Mühendis ve Makine, S:496, Mayıs 2001
3. Özel, C., Özek, C., “Kardioid Şekilli Kam İmalatı İçin BDÜ Kodlarının C Programlama İle Türetimi”, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (1), 73-81, 2003.
4. Özel, C., Özek,C., “ Dönel Paraboloid Şeklindeki Parçaların BSD freze Tezgahında İmalatının Araştırılması”, Dok. Ey. Üniv. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:4 Sayı: 1 Sh: 89-97, Ocak 2002.
5. İnan, A., “CNC Freze Tezgahları için Analitik İfadeli Uzay Şekillerinin İmalat Programlarının Çıkarılması Ve Uygulaması”, 5. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Uludağ Bursa, Eylül 1991.
6. İnan A., “The Machining of Elliptic Paraboloid Using Computer Numerical Control Systems”, The Journal of Fırat University 5(1), 67-77, Elazığ, 1993.
7. Özek, C; Ünal, E ve Özek, M.B. “Zincir dişlilerin imalatı için MATLAB programlama ile CAD-CAM CNC integrasyonu” makine teknolojileri elektronik dergisi, 2006 (3) 45-52
8. Savaş, V ve Yapıcı, A.K. “CNC Freze Tezgahında Arşimet Spiralinin İmalatı”, makine teknolojileri elektronik dergisi, 2005 (4) 25-31
9. Fischer, G., Mathematical Models, Frieder. Vieweg. & Shon Braunschweig/Wiesbaden, 1986.
10. Faydor L. Litvin, Alberto Demenego, Daniele Vecchiato (2000), “formation By Branches Of Envelope To Parametric Families Of Surfaces And Curves”, computer methods in applied mechanics and engineering, 190(2001) 4587-4608,
11. Fatih C. BABALIK, K. ÇAVDAR, F. KARPAT, (2004), “Asimetrik Evolvent Profilli Düz Dişli Çarkların Geometrisi Ve Gerilme Analizi”, Mühendis ve makine, sayı 528,
12. Faydor L. Litvin, Alessandro Nava, Qi Fan, Alfonso Fuentes, (2002), “New Geometry Of Face Worm Gear drivers With Conical And Cylindrical Worms: Generation, Simulation Of Meshing, And Stress Analysis”, computer methods in applied mechanics and engineering, 191(2002) 3035-3054,

13. Shuren Wang, Dongan Zhan, Hua Liu, Shuyu Wang, (2002), “Tooth Contact Analysis Of Toroidal Involute Worm Mating With Involute Helical Gear”, mechanism and machine theory, 37(2002) 685-691,
14. Pei-Yu Wang, Zhang-Hua Fong, (2004), “Adjustability Improvement Of Face-Milling Spiral Bevel Gears By Modified Radial Motion (MRM) Method”, mechanism and machine theory,
15. Faydor L. Litvin, G. Argentieri, M. De Donno, M. Hawkins, (2000) “Computerized design, generation and simulation of meshing and contact of face worm-gear drives”, computer methods in applied mechanics and engineering, 189 (2000) 785-801,
16. A.İNAN, C.ÖZEL, (2000), “Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahında Matterson Mekanizması Yardımı İle Düz Konik Dişli İmalatının Araştırılması”, F.Ü. fen ve müh. bilimleri dergisi, 12(1),2000,267-276
17. F.L. Litvin , Jian Lu, D.P. Townsend, M. Howkins , “Computerized simulation of meshing of conventional helical involute gears and modification of geometry”, mechanism and machine theory , (34) 1999, 123-147

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Elazığ'da doğan AbdulKerim YAPICI ilk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 1996 yılında Elazığ Gazi Anadolu teknik lisesinden mezun olduktan sonra Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında lisans eğitimini tamamlayıp, 2003-2004 yılları arasında askerlik görevini yaptıktan sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.