

**KARDİOİD ŞEKLİ KAMLARIN CNC FREZE TEZGAHLARINDA İMALATLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Cihan ÖZEL*, Cebeli ÖZEK**

* Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23279.

** Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, Elazığ, 23119.

ÖZET

Bu çalışmada, kardioid şekilli kamın, CNC freze tezgahlarında imalatı araştırılmıştır. Bu şekilde bir imalat için, kardioidin kutupsal koordinatlarda verilen $R = a \cdot (1 + \cos\theta)$ genel denklemi dikkate alınmıştır. Bu denkleme göre, kardioid şekilli kamın imalat denklemleri çıkartılmış ve CNC imalat programı hazırlanmıştır. Daha sonra bu program ile DM 2900 tipi CNC freze tezgahında bir kam imal edilmiştir. Yapılan bu imalat sonunda, imalat denklemlerindeki parametrelerin kamın imalat maliyetlerini ve işlenme hassasiyetini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Kam, Kardioid, CNC programı.

**AN INVESTIGATION ON MANUFACTURING OF THE CARDIOID
CAMS HAVE IN CNC MILLING MACHINES**

ABSTRACT

In this study, it has been aimed the manufacturing of the cam have cardioid shape in CNC milling machines. For this purpose, manufacturing, it has been considered $R = a \cdot (1 + \cos\theta)$ general equation given at polar coordinate of cardioid. According to this equation, the manufacturing equations of the cam have cardioid shape have been derived and CNC manufacturing programme have been prepared. After that, a cam has been manufactured by using this programme in DM 2900 CNC milling machines. In the end of this manufacturing, it has been seen that the parameters in manufacturing equations considerably have been effected to cost of manufacturing and machining accuracy.

Key Words: The Cam, The Cardioid, CNC programme.

1. GİRİŞ

Modern üretim sistemlerinin özünü, sayısal denetimli takım tezgahları oluşturmaktadır. Sayısal denetim teknolojisindeki hızlı gelişmeler, teknik özellikler ve programlama yöntemi açısından, değişik marka tezgahlar arasında önemli ayrımı farklarına yol açmaktadır. Değişik marka sayısal denetimi kullanan, aynı marka tezgahlarda dahi bu durum söz konusudur. Bu durum ise, bir makine parçası için farklı farklı CNC programlarının olacağı anlamına gelmektedir. CNC programının özünü, kesici takımın imal edilecek yüzeyler üzerinde takip edeceği yolun hesaplanması teşkil etmektedir. Kesici yollarının hesaplanmasında ise hala çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Takım kesici yollarının oluşturulması için hazırlanan, CNC programlarındaki temel hedeflerden biri, kullanıcının programa en az girdi vererek istenen imalatı gerçekleştirmesi olmalıdır.

Matematiksel modellenmiş şekillerin imalatında ise bu durumun oldukça önemli olduğu görülmekte ve bu konu ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [1]. Kalıp yüzeylerinin oluşturulması için kavisli yüzeylerin kullanılmak zorunda olduğu bir çok durum vardır. Bu tür yüzeylerin CNC freze tezgahlarında imalatına yönelik çeşitli çalışmalar devam etmektedir. Bundan önceki bir çalışmada, düz alınlı bir parmak freze çakısının bir kalıp yüzeyini işlerken takım yolunu, NC programlama ve CAD/CAM de değerlendirmek için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma yardımı ile bir kalıp yüzeyi üzerinde bulunan, izometrik, konkav ve konveks bölgelerin işleme durumları gözden geçirilmiştir. Bu yeni algoritma, takım yolu için toplam data farklılığını azaltmış, datalar daha kolay bir şekilde elde edilmiş ve çakının konumu, bilinen usullerden farklı olarak hesaplanmıştır [1]. Yine düz alınlı parmak freze çakısı ile bir kayak modeli ve turgo türbin kalıbı gibi düşük eğrilikli yüzeyler işlenmiş ve bu çakıların küresel uçlu çakılara göre ilişkisi değerlendirilmiştir. Araştırma sonunda, düz alınlı parmak freze çakılarının düşük eğrilikli yüzeyleri daha az paso sayısı ile işlediği, çok daha verimli talaş kestiği ve daha uzun ömürlü olduğu görülmüştür [2]. Ayrıca çakı konumu bilgisine göre, çakının kıvrımlı bir yüzey içerisinde temas noktalarının değiştirildiği algoritmik bir işlem gösterilmiştir. Bu algoritma ile konkav ve konveks kıvrımlar otomatik olarak teşhis edilmiş ve daha sonra çakının onlardan uzaklaşması sağlanmıştır. Yine bu tür yüzeyler işlenirken küçük çaplı küresel uçlu çakılar kullanılmasının, işlemin verimliliğini artıracakları anlatılmıştır [3]. Biçimlendirilmiş yüzeylerden ibaret modeller için, 3 ve 5 eksenli freze tezgahlarında takım yollarını oluşturmak için bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma bir model üzerinde denenmiştir. Deneme sonunda, bu algoritmanın önceki algoritmalarından daha verimli olduğu ve takım yollarını daha kısa sürede oluşturduğu görülmüştür [4]. Zimbalarda ve kalıp yüzeylerinde bulunan farklı bölgelerin işlenmesi ve modellenmesi için bir metot gösterilmiştir. Bu metotta kalıp yüzeylerindeki düzlemsel yüzey parçaları ve karma parametrik yüzeylerden oluşan bölgeler, uzay geometri tasarımı kullanılarak modellenmiştir. Bu tür bir modelleme için işlem basamakları ve hesaplama detayları anlatılarak, IBM PC AT de bir örnek modelleme gerçekleştirilmiştir [5]. Yine karma parametrik yüzeyleri işlemek için bir metot geliştirilmiş ve bu metot örnek olarak seçilen yüzey şekilleri üzerinde denenmiştir. Bu metot ile karmaşık şekilli ve büyük yüzey modelleri, kısa zamanda oluşturulmuştur [6]. Yine başka bir çalışmada, uzay geometri kullanılarak katı bir model oluşturulmuş ve bu model üzerinde, takım yolunu oluşturmak için bir algoritma gösterilmiştir. Bu algoritma, APT gibi diğer programlardan daha basit ve çok daha otomatik olarak kullanılmıştır [7]. Ayrıca küresel uçlu bir parmak freze çakısı ile bir parça işlendiği zaman, kesme kuvvetleri ve iş parçasının şekil değişimini önceden belirleyebilen bir algoritma geliştirilmiştir. İş parçası şekil dasetasını elde etmek ve kesme kuvvetlerini hesaplamak için, ağ örgüsü bilgileri oluşturulmuş ve kullanılmıştır. Takımın iş parçası üzerindeki temas alanı, ağ örgülerinin yüzey normali ve yüksekliği ile bulunmuş ve ayrıca iş parçasının şekli güncelleştirilmiştir [8]. Yine gelişmiş güzel yüzeyler ve kalıp yüzeylerinin verimli frezelenmesi için, yeni bir CNC komut oluşturma yaklaşımı gösterilmiştir. Bu yaklaşım geleneksel uygulamalar ile karşılaştırılmış ve yeni algoritma, sistemli bir şekilde kesme yüklerini ve makine dinamik etkilerini hesaplamak için de kullanılmıştır [9]. CNC torna ve freze tezgahlarında dönel ve prizmatik iş parçalarını işlemek için parça programlarının otomatik üretimi ve kontrolü için iki sistemin geliştirilmesi ve kullanımı açıklanmıştır. Otomatik parça programı üretimi, ISO (G ve M) kodları kullanılarak yapılmıştır. Makalede sunulan her iki yöntem, bir kişisel bilgisayar üzerinde ve C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir [10]. Yine prizmatik parçalar için dik işlem merkezinde, genetik algoritmalar kullanılarak işlem planlama fonksiyonlarının optimizasyonu için çalışma yapılmıştır [11]. Başka bir çalışmada, günümüzde nümerik kontrollü tezgahlarda kullanılan çeşitli programlama teknikleri hakkında bilgiler verilerek bu programlama tekniklerinin özellikleri anlatılmıştır [12].

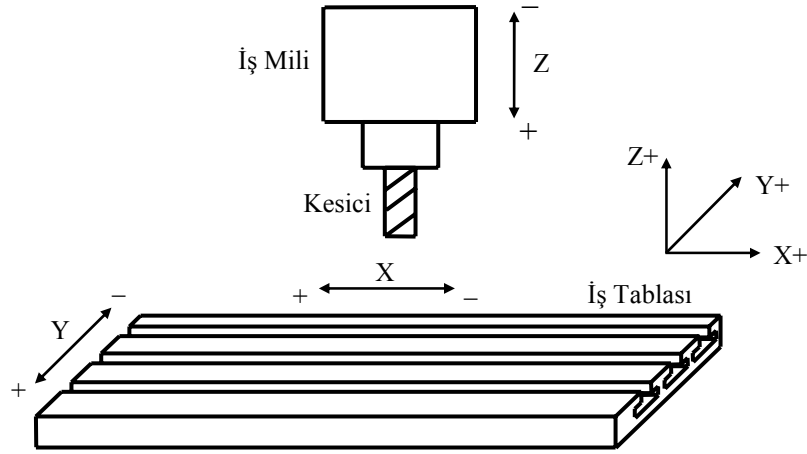
Bu çalışmada; son yıllarda ülkemizde de CNC tezgahlarının giderek yaygınlaşması dikkate alınarak, çeşitli mekanizmalarda ve özellikle Grisson mekanizmasında uygulama alanı bulan kardioid şeklindeki kamların, CNC imalat programının Fanuc işletim sistemli makro programlama ile nasıl hazırlanacağı gösterilmiş ve bir parça üzerinde uygulaması yapılarak sonuçları tartışılmıştır.

2. CNC FREZE TEZGAHI VE PROGRAMLAMA PARAMETRELERİ

Şekil 1' de görülen CNC Freze tezgahında, iş tablasının X, Y, Z eksenleri yönündeki hareketleri pozitif, tersi yönündeki hareketleri de negatiftir. Şeklin sağındaki koordinat eksenleri de, çakının bağımlı hareket yönlerini gösterir.

Tezgahtaki hareketler elle kumanda edilebildiği gibi, program ile otomatik olarak da kumanda edilebilmektedir. Tezgahta makro programlama için kullanılabilen 120 değişken vardır. Makrolar, alt programlar gibi belirli bir operasyon sıralamasıdır. Ancak, alt programlardan farklı olarak makroların programlanması değişkenlere dayanır. Bu değişkenlere göre bir operasyon sırası tanımlanır ve daha sonra bu değişkenlere değerler verilerek çeşitli programlarda kullanılabilir. Makro değişkenler, '#' işareti ile birlikte,

0-119 aralığındaki sayılar ile kullanılırlar. Bu değişkenler aynı zamanda, >, <, +, -, *, / gibi matematiksel ifadeler ile birlikte de kullanılabilirler. Ayrıca tezgahta kullanılabilen SIN, COS, ABS, ANG ve SQR gibi hazır diğer basit matematiksel fonksiyon parametreleri de vardır [13].



Şekil 1. DM 2900 tipi CNC freze tezgahı [13].

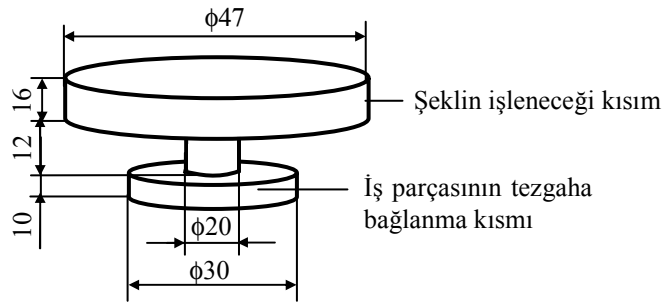
Örneğin; #30=12 ifadesinde #30, 30 değişkeni anlamına gelir ve değeri 12' dir. #40=#25 ifadesinde, #25 değişkenine bir değer verilmedikçe #40 değişkeni boştur. #28=5 ise #43=#28+10 ifadesinde, #43 değişkeninin değeri 15' dir. N25 #22=60 ise N35 G01 X10 F#22 ifadesinde, ilerleme hızı 60 mm/dak' dır. Yine #60=50 ise Z#60 ifadesinde, Z 50' dir. Ayrıca #75=30 ise #80=SIN#75 ifadesinde, #80 değişkeninin değeri 0.5' dir.

2.1. Deney Malzemesinin Seçimi ve Boyutlandırılması

Yapılan araştırmada, imal edilecek kardioid şekilli kamın malzemesi, kamın makara tipi izleyici ile birlikte sürtünerek çalışacağı dikkate alınarak Ç8620 çeliğinden seçildi. Başlangıçta dairesel kesitli olan bu malzemenin boyutlandırılması için, kutupsal eksenlere göre simetrik olan

$$R = a \cdot (1 + \cos\theta) \quad (1)$$

denklemini dikkate alındı. $\cos\theta$, -1 ile +1 aralığında değiştiğinden R negatif değer alamaz. Yine θ açısı, 0° den 180° ye doğru değişirken R' nin değerleri, $0 \leq R \leq 2a$ aralığında değişir.



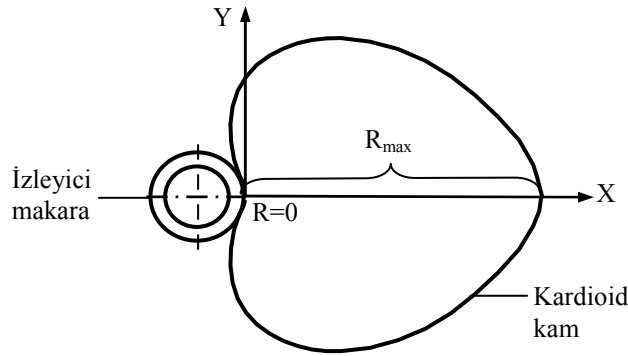
Şekil 2. İş parçası taslağının ölçüleri

Bu durum karşısında örnek bir uygulama için kardioid şekilli kamın, maksimum R değeri 40 mm ($a = 20$) ve kalınlığı da 15 mm olarak serbest seçilmiştir. Ancak şeklin işleneceği kısmın boyutları; kamın $R = 0$ noktasına göre X ekseninin negatif bölgesine taşıdığı ve taslak parça klasik torna tezgahında işlenirken, bir takım işleme hatalarının da oluşabileceği dikkate alınarak maksimum eğrilik yarı çapı 47 mm ve kalınlığı da 16 mm olarak seçilmiştir. Ayrıca taslağın bağlanma kısmının boyutları, taslağın CNC freze tezgahına civata ve papuçlar ile bağlanacağı dikkate alınarak yukarıdaki gibi belirlendi (Şekil 2 ve 3). Şayet imal edilen parça birden fazla bağlamaya tabi tutulacaksa, ikinci ve daha sonraki bağlamalarda iş parçasının sıfır noktası

değişebilir. Bu durum, parçanın hassas bir şekilde imal edilmesini engelleyebilir. Bunu ortadan kaldırmak için iş parçası, CNC freze tezgahının tablasına, bir torna tezgahının üniversal aynası ile bağlanabilir.

2.2. Parmak Freze Çakısının Seçimi

Parmak freze çakısı seçilirken kardioid şeklindeki kamın geometrisi dikkate alındı. (1) denkleminde $\theta = 180^\circ$ iken $R = 0$ olacağından bu noktayı parmak freze çakısının radyüsünden dolayı matematiksel olarak elde etmek mümkün değildir. Yani $R = 0$ noktası, parmak freze çakısının radyüsü kadar bir hata ile imal edilebilir. Ancak gerçekte kam, $R = 0$ noktasında sürekli izleyici ile birlikte çalışacağından bu noktanın, izleyicinin radyüsüne uygun olarak imal edilmesi gerekir (Şekil 3).

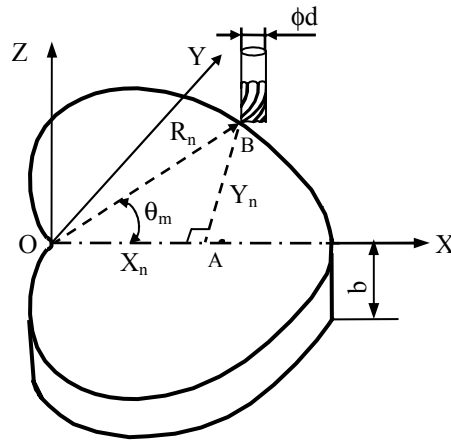


Şekil 3. Kardioid kam ve izleyici.

Buradan hareketle parmak freze çakısının seçiminde, izleyici çapının dikkate alınması gerekir. Yani kardioid şekilli kam imal edilirken izleyici çapı ile aynı çapta, parmak freze çakısının seçilmesinin imalatın kolaylığı için uygun olacağı görülmektedir. Şayet izleyici çapına uygun parmak freze çakısı yoksa doğru bir imalat için, izleyici çapından daha küçük çaplı bir parmak freze çakısı seçilmelidir. Kamın $R = 0$ noktası, bu çakı ile izleyici radyüsüne uygun olarak G02 dairesel enterpolasyon kodu ile işlenmelidir. Bu şekilde $R = 0$ noktasında çakı çapından dolayı meydana gelebilecek hatalar önlenmiş olur.

Bu çalışmada, kamın birlikte çalışacağı rulenin çapı 6 mm olarak kabul edildi ve imalat için 6 mm çapında R-N tipi Co8 HSS parmak freze çakısı seçildi.

2.3. Takım Yolu İçin Denklemlerin Çıkartılması



Şekil 4. Kardioid şekilli kamın geometrisi

Z' nin sabit değeri için $R = a \cdot (1 + \cos\theta)$ denklemi ile verilen kardioid şeklindeki kamın, CNC freze tezgahlarında imal edilebilmesi için, ilk önce bu denklemin X ve Y eksen takımlarına göre yeniden düzenlenmesi gerekir. Bunun için Şekil 4 deki AOB üçgeninden,

$$X_n / R_n = \cos\theta_m \quad (2)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra,

$$X_n = [a \cdot (1 + \cos\theta_m)] \cdot \cos\theta_m \quad (3)$$

(2) denklemi elde edilir. Yine Şekil 4 den Y eksenini için,

$$Y_n / R_n = \sin\theta_m \quad (4)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde de benzer düzenlemeler yapılarak

$$Y_n = [a \cdot (1 + \sin\theta_m)] \cdot \sin\theta_m \quad (5)$$

denklemi bulunur. Takım yolu (3) ve (5) denklemlerine göre oluşturulursa, kam gerçek ölçülerine göre imal edilemez. Çünkü parmak freze çakısının yarı çapı ile ilgili ifadeler, bu denklemlere ilave edilmemiştir. Bunun için (3) ve (5) denklemlerine, çakının yarı çapı ile ilgili ifadeler ilave edilerek parametrik imalat denklemleri,

$$X_m = [a \cdot (1 + \cos\theta_m)] \cdot \cos\theta_m + r \cdot \cos\theta_m \quad (6)$$

$$Y_m = [a \cdot (1 + \sin\theta_m)] \cdot \sin\theta_m + r \cdot \sin\theta_m \quad (7)$$

$$Z_m = \text{Sabit} \quad (8)$$

Şeklinde elde edilir. Kamın parmak freze çakısı ile (6), (7) ve (8) denklemlerine göre işlenebilmesi için, θ_m ve Z_m parametrelerindeki değişim aralıklarının da belirlenmesi gerekir.

θ_m için değişim aralığı, $0^\circ \leq \theta_m \leq 360^\circ$ ve Z_m için değişim aralığı $0 \leq Z_m \leq b$ olarak yazıldı (Şekil 4). Parmak freze çakısı bu değişim aralıklarına göre, G01 doğrusal enterpolasyon kodu ile hareket ederek kam, gerçek ölçülerine göre imal edilmiştir. Kam imal edilirken çakı çapı payı için, G42 kodu kullanılmadı. Çünkü bu araştırmada, (6), (7) ve (8) denklemlerindeki parametrelerin işlenen yüzey üzerindeki etkilerinin incelenmesi düşünülmüştür.

3. KARDİOID ŞEKLİ KAMIN İŞLENMESİ

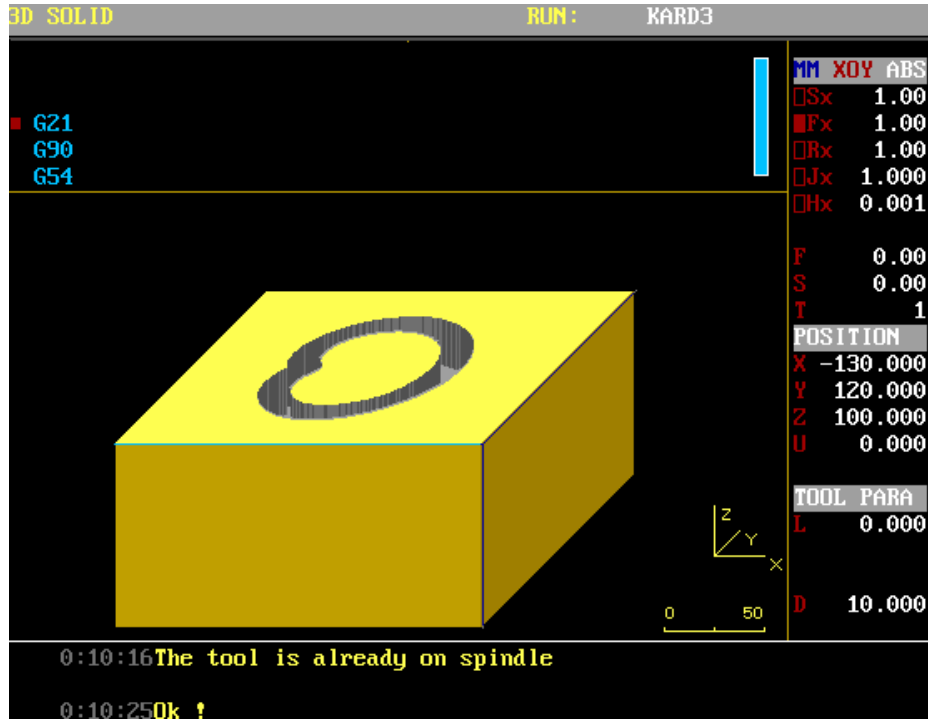
Kardioid şekilli kamların, CNC programı ile imalatı için hazırlanan program aşağıda verilmiştir.

N05 G21;	N95 #8=COS#14;
N10 G90;	N100 #10=SIN#14;
N15 G54;	N105 #9=#6+#6*#8+#50;
N20 G40;	N110 #11=#9*#10;
N25 T01;	N115 #12=#9*#8;
N30 F50;	N120 M73 N#5;
N35 M03 S1500;	N125 G01 X#12 Y#11;
N40 G00 X0 Y0 Z2;	N130 G01 Z-#13;
N45 #50=3;	N135 M73 N#4;
N50 #1=0.25;	N140 #15=COS#14;
N55 #6=20;	N145 #16=SIN#14;
N60 #0=16;	N150 #17=#6+#6*#15+#50;
N65 #2=360;	N155 #18=#17*#15;
N70 #3=0.25;	N160 #19=#17*#16;
N75 #13=#1;	N165 G01 X#18 Y#19 Z-#13;
N80 #14=0;	N170 #14=#14+#3;
N85 #4=#2/#3;	N175 M74;
N90 #5=#0/#1;	N180 #13=#13+#1;

N185 #14=0;
N190 M74;
N195 G00 Z2;

N200 G28;
N205 M30;

Kam imal edilmeden önce yukarıdaki programa göre, bilgisayarda simülasyonu yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Kamın simülasyonu

Hazırlanan CNC programında, sırası ile aşağıdaki işlemler yapılmaktadır:

N05 ile N40 satırları arası;
N45 ile N60 satırları arası;
N65 ile N80 satırları arası;

program ve tezgah çalıştırma işlemlerinin yapıldığı kısım,
sırası ile, r , h_n , a ve b gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı kısım,
sırası ile, θ_{max} , θ_n , H_m ve θ_m gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı kısım,

N85 ile N90 satırları arası;
N95 ile N115 satırları arası;

sırası ile, $n_1 = \theta_{max} / \theta_n$ ve $n_2 = b / h_n$ gibi işlemlerin yapıldığı kısım,
çakının kardioid şekilli kamı işlemek için başlangıç koordinatlarının hesaplandığı kısım,

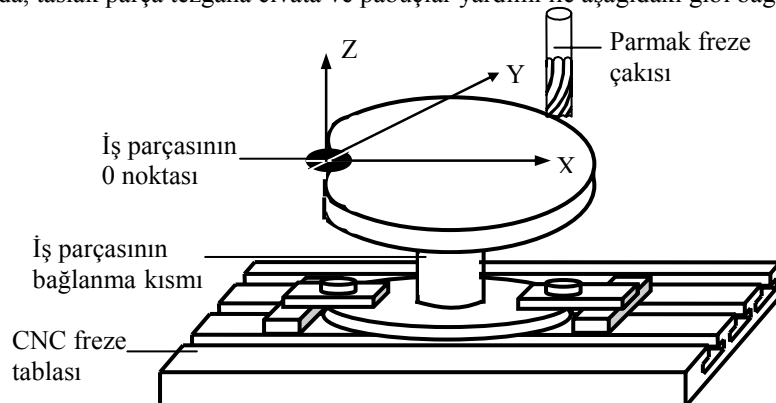
N120 ile N130 satırları arası;
N135 ile N175 satırları arası;
N180 ile N190 satırları arası;

çakının talaş kesme kalınlığına göre kamın işlemeye başladığı döngü kısmı,
çakının kardioid şekilli kamı XY düzlemine göre işlendiği döngü kısmı,
 $H_m = H_m + h_n$ talaş kesme kalınlığının hesaplandığı ve $\theta_m = 0$ işleminin yapılarak N120 numaralı satıra dönüş kısmı,

N195 ile N205 satırları arası;

programı durdurma işlemlerinin yapıldığı kısım.

Kamın program ile imal edilebilmesi için taslak parçanın, CNC freze tezgahına uygun bir şekilde bağlanması gerekir. Bu çalışmada, taslak parça tezgaha civata ve pabuçlar yardımı ile aşağıdaki gibi bağlanmıştır (Şekil 6).



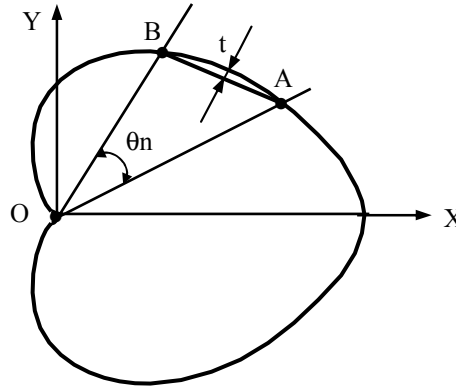
Şekil 6. Kamın CNC freze tezgahına bağlanması ve işlenmesi

Kardioid şekilli kam, yukarıdaki program ile kaba ve ince işlenerek imal edilebilir. Bu çalışmada kamı kaba işlemek için, rule çapına uygun olarak seçilmiş olan çakı tezgahta bağlı iken, programda ilgili satırlar aşağıdaki gibi yazıldı.

N30 F65;
 N35 M03 750;
 N45 #40=3.25;
 N50 #3=0.5;
 N70 #1=1.5;

N30 numaralı satırda; çakının ilerlemesi 50 mm/dk, N35 numaralı satırda; iş milinin devri 750 dev/dak, N45 numaralı satırda; ince işleme için düşünülen talaş kesme payı (XY düzlemine göre) çakı yarıçapına ilave edildi. N50 numaralı satırda, minimum talaş kesme kalınlığı 0.5 mm ve N70 numaralı satırda, θ_n açısı 1.5° seçildi. Program seçilen bu değerlere göre çalıştırılarak kam kabaca işlendi. Daha sonra ince işlemek (son işleme) için, ilgili satırlar ana programda yazıldığı gibi düzenlendi ve kam ince olarak işlendi.

Bu program, θ_n ve h_n gibi önceden belirlenebilen hassasiyet değerlerine göre çalışır. Bu hassasiyet değerlerinin anlamları; θ_n için girilen değerler, kardioid şekilli kamın XY düzlemine göre işlenme hassasiyetini belirler (Şekil 7).



Şekil 7. θ_n açısı ve kamın işlenme hassasiyeti.

Yine h_n için girilen değer ise, kardioid şekilli kamı Z ekseninde, b kalınlığı boyunca işlemek için talaş kesme kalınlığını ifade eder. Her iki değerde tezgah hassasiyeti dikkate alındığında 0.001^0 olabilir.

4. TARTIŞMA

Bu araştırmada, dik işlem merkezli CNC freze tezgahlarında kardioid şekilli kamların θ_n ve h_n gibi iki hassasiyet değeri ile imal edilebileceği görülmüştür. θ_n açısındaki değişimlerin çok büyük olarak seçilmesi halinde, kamın hassas bir şekilde imal edilemeyeceğini göstermiştir (Şekil 7). Çünkü θ_n açısı büyüdükçe, AB kiriş uzunluğunun büyümesine bağlı olarak eğriden sapma miktarı (t) artacağından kamın hassasiyetinin bozulacağı görülmektedir. θ_n açısı küçüldükçe, eğriden sapma miktarı azalacağından parçanın, daha hassas olarak imal edilebileceği görülmektedir. Ancak bu durum imalat süresinin uzamasına ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Yine bunlarla beraber, kamın eğrilik yarı çapı büyüdükçe θ_n açısının mümkün en küçük seçilmesinin, imalatın hassasiyeti açısından önemli olduğu görülmüştür. Çünkü θ_n açısı yeterince küçük seçilemediği takdirde, bu tür kamlarda a katsayısı büyüyeceğinden (7) ve (8) denklemleri gereği, X_m ve Y_m koordinatları da büyüyecektir. Bu durumun da, eğriden sapma miktarını artırarak kamın hassas olarak imalatını engellemektedir. Ancak küçük eğrilik yarıçapına sahip olan kamlar işlenirken, θ_n açısının çok küçük seçilmesinin, yine (7) ve (8) denklemleri gereği imalat süresinin uzamasına ve buna bağlı olarak da maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Bunlarla beraber seçilecek olan h_n değeri, imal edilecek şeklin malzemesine göre çakının kesebileceği maksimum talaş kalınlığına göre belirlenmelidir. Aksi takdirde çakının çabuk körlenmesi ve kırılması durumu oluşur. Bu çalışmada kam imal edilirken θ_n açısı, kaba işleme için 1.5° ve ince işleme için ise 0.25° , h_n ise kaba işleme için 0.5 mm ve ince işleme için de 0.25 mm olarak seçildi. Seçilen bu değerlere göre imal edilen kamın yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo SurfTest 211 marka bir yüzey pürüzlülük ölçme aleti ile $R_a=0.2 \mu m$ olarak ölçüldü.

Bu çalışma ile, bu tip kamları belirleyen temel büyüklükler, hazırlanan CNC programına dışarıdan girilerek bu şekilde kamların imalatı genelleştirilmiş ve bundan sonraki uygulamalarda sanayi için kolaylık sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR

1. Eğrilik yarıçapı ve çevresel hızı büyük olan kamlar imal edilirken θ_n açısının $0.001^\circ \leq \theta_n \leq 0.01^\circ$ aralığına göre seçilmesinin faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.
2. Küçük eğrilik yarı çapı ve çevresel hızı küçük olan kamlar imal edilirken, θ_n açısı için $0.01^\circ \leq \theta_n \leq 0.1^\circ$ aralığının kullanılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.
3. Maksimum talaş kesme kalınlığı h_n parmak freze çakısının kesebileceği sınırlar içerisinde olmalıdır.
4. Parmak freze çakısının seçiminde ise, kamın birlikte çalıştığı izleyicinin çapı dikkate alınmalıdır.
5. Hassas bir kam imalatı için kam kaba ve ince olarak işlenmelidir.

6. SEMBOLLER

- R_n : Kardioid üzerindeki herhangi bir noktanın eğrilik yarı çapı (mm),
 a : Kardioid denklemindeki katsayı (mm),
 b : Kardioid şekilli kamın kalınlığı (mm),
 r : Parmak freze çakısının yarı çapı (mm),
 t : Kardioid eğrisinden sapma miktarı (mm),
 θ_n : Kardioid şekilli kamın XY düzlemine göre işleme hassasiyeti ($^\circ$),
 θ_m : Döngü içinde θ_n açısına göre hesaplanan açı ($^\circ$),
 h_n : Kardioid şekilli kamı Z eksenine boyunca işleme hassasiyeti (mm),
 H_m : Döngü içinde h_n talaş kesme kalınlığına göre hesaplanan talaş kalınlığı (mm),
 n_1 : Kardioid şekilli kamın XY düzlemine göre işlenmesi için hesaplanan döngüsü sayısı,
 n_2 : Kardioid şekilli kamı Z ekseninde b kalınlığı boyunca işlemek için hesaplanan döngü sayısı,
 X_n, Y_n : Kardioid şekilli kamın parametrik denklemleri,
 X, Y, Z : CNC freze tezgahı eksen yönleri,
 X_m, Y_m, Z_m : Kardioid şekilli kamın imalat denklemleri,

KAYNAKLAR

- [1] Daoyuan, Y., Zhengcheng, D., Xiong, Z., and Jinning, L., "Local Discretization Without Tolerance in The CAD/CAM and NC Programming of a Sculptured Surface", Journal of materials processing technology 57 195-200., 1995
- [2] Vickers, G.W., and Quan, K.W., "Ball-mills versus end-Mills for Curved Surface Machining", Trans. ASME. Journal of Engineering for Industry, 22/Vol.111, February., 1989.
- [3] Choi, B.K., and Jun, C.S., "Ball-end Cutter Interference Avoidance in Nc Machining of Sculptured Surfaces", Computer-aided design Vol.21 No.6July/August., 1989.
- [4] Elber, G., and Cohen, E., "Toll Path Generation for Freeform Surface Models", 2nd ACM Solid Modeling, 93-5/Montreal, Canada.,1993.
- [5] Choi, B.K., Lee, C.S.,Hwang, J.S. and Jun, C.S.,. "Compound Surface Modelling and Machining", Computer-Aided Design, Vol.20, No.3 April., 1988.
- [6] Hwang, J.S.,. "Interference-free Tool-Path Generation in The NC Machining of Parametric Compound Surfaces", Computer-Aided Design Vol.24, No.12, December., 1992.
- [7] Bobrow, J.E., "NC Machine Tool Path Generation From CSG Part Representations", Computer Aided Design, Vol.17, No.2, March., 1985.
- [8] Park, S., Yang, M.Y., and Lee C.W., "Simulation of NC Machining Using a Ball End Mill", Korea Institute of Science and Technology, CAD/CAM Laboratory. ,1998.
- [9] Golub, A.D., and Yang, D.C.H., "Improved Trajectory Generation for Precision CNC Milling of Arbitrary Contours and Surfaces", Precision Machining: Technology and Machine Development and Improvement ASME PED-Vol.58., 1992.
- [10] Dereli, T. ve Filiz H., "Automatic CNC Code Generation In Process Planning of Rotational And Prismatic Parts", Politeknik Dergisi, Cilt:3 Sayı:2 s.1-25., 2000.
- [11] Dereli, T. ve Filiz H., "Optimisation of Process Planning Functions by Genetic Algorithms Computers & Industrial Engineering", Vol. 36, No.2, pp. 281-308., 1999.
- [12] Karagöz, Y., "Nümerik Kontrollü Tezgahlar İçin Programlama (CAM) Teknikleri", Mühendis ve Makine-Cilt 41 Sayı 483., Nisan., 2000.
- [13] DM 2900 Operation Manuel, Dyna Mechtronics Inc. Ltd. 926 W. Maude Ave. Sunnyvale, Ca.94086 U.S.A., 1996.