

Piramidal Bir Yüzeyin CNC Freze Tezgahlarında Düz Alınlı Parmak Freze Çakısı ile İmalatının Araştırılması

Cihan Özel
Y. Doç. Dr.

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü,
Elazığ.

Bu çalışmada, piramidal yüzeylerden biri olan eliptik paraboloidin CNC freze tezgahında düz alınlı parmak freze çakısı ile imalatı amaçlanmıştır. Bu şekilde bir imalat için, eliptik paraboloidin imalat denklemleri çıkartılmış ve takım yollarının hesabı için, Fanuc işletim sistemli makro programlama ile otomatik NC programının nasıl hazırlanacağı gösterilmiştir. Hazırlanan bu program ile DM 2900 tipi CNC freze tezgahında, örnek olarak paraboloid bir yüzey imal edilmiştir. Yapılan bu imalat sonunda, imalat denklemlerindeki parametrelerin hem imal edilen yüzeyin işleme hassasiyetini hem de imalat zamanını etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : *Eliptik Paraboloid Yüzey, Makro Programlama, CNC Dikey Freze Tezgahı.*

SEMBOLLER

- N_2 : Elips kesitleri işlemek için döngü sayısı,
 N_1 : Eliptik paraboloid yüzeyin yüksekliği için döngü sayısı,
 Z_{max} : Eliptik paraboloid yüzeyin maksimum yüksekliği (mm),
 a_{max} : Eliptik paraboloid yüzeyin maksimum kesiti üzerindeki uzunluk değeri (mm),
 H_m : Döngüde, H_n değerine bağlı olarak elde edilen toplam yükseklik (mm),
 H_n : Döngü içinde kullanılan minimum talaş kesme kalınlığı (mm),
 r : Parmak freze çakısının yarı çapı (mm),
 θ_m : Döngüde, θ_n açısına bağlı olarak elde edilen açı (derece),
 θ_n : Döngü için kullanılan en küçük açısal değişim miktarı (derece),
 θ_{max} : Elips kesitleri oluşturmak için kullanılan maksimum açı (derece),
 θ_{nmax} : Paraboloid yüzeyin maksimum kesitini işlemek için seçilen açı değeri (derece),
 a_n, b_n : Paraboloid yüzeyin herhangi bir kesiti için parametrik denklemlerindeki katsayılar,
G01 : Doğrusal enterpolasyon kodu,
G21 : Metrik sistem kodu,
G90 : Mutlak ölçülendirme kodu,
G40 : Takım çap telafisinin iptali,
G54 : İş parçası referans noktası,
G28 : Çakının tezgahın referans noktasına gitmesi,
M30 : Program sonu,
T01 : Takım numarası,

- M03 : İş mili dönme yönü (CW),
M73 : Çevrim başlangıcı,
M74 : Çevrim sonu,
S : İş milinin devir sayısı (dev/dak),
F : Çakının devir başına ilerleme miktarı (mm/dak),
A, B, C : Eliptik paraboloid yüzeyin denklemindeki katsayılar,
X, Y, Z : CNC Freze tezgahının eksen yönleri,
 X_m, Y_m, Z_m : Eliptik paraboloidin yüzeyin imalat denklemleri,
 X_n, Y_n, Z_n : Eliptik paraboloidin yüzeyin parametrik denklemleri,

GİRİŞ

Sayısal denetimli takım tezgahları, belirli bir parçayı işlemek için kesici hareketlerini ve yürütülmesi gereken işlemleri tanımlayan NC kodunda yazılmış, kelime veya blok dizilerinden oluşan program tarafından kontrol edilir. ISO 6983/1 gibi uluslararası NC kodu standartları olmasına rağmen, farklı üreticiler tarafından geliştirilmiş NC sistemleri farklı NC kodlarını kullanırlar. Bu yüzden herhangi bir parça için hazırlanan NC programı, farklı NC işletim sistemlerinde kullanılamamaktadır. Bu durum ise, imalat açısından birtakım güçlükler sebeptir.

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,

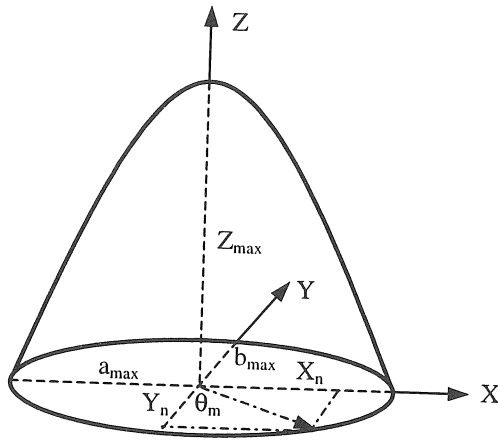
Takım Yolu İçin İmalat Denklemlerinin Çıkarılması

Yukarıda yazılan (1) denklemi incelenirse denklemin, Z' nin sabit değerlerine göre bir elips denklemi olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, CNC dikey freze tezgahında eliptik paraboloid şeklindeki bir yüzeyin, Z_{max} yüksekliği boyunca XY düzlemine paralel düzlemlerdeki elipslerin işlenmesi ile imal edilebileceği görülmektedir (Şekil 3). Yine bu şekilde bir imalat için, yüzeye ait parametrik denklemlerin gerekli olacağı göz önünde bulundurularak eliptik paraboloidin parametrik denklemleri, Şekil 3 dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_n = a_n \cdot \cos\theta_m \quad (4)$$

$$Y_n = b_n \cdot \sin\theta_m \quad (5)$$

$$Z_n = \text{sabit} \quad (6)$$



Şekil 3. Eliptik paraboloid yüzey

Ancak parmak freze çakısı parçayı, (4), (5) ve (6) denklemlerine göre işlediğinde yüzey gerçek boyutlarında imal edilemez. Çünkü denklemlere, çakı yarıçapı (r) ilave edilmemiştir. Bunun için yukarıdaki denklemlere, çakı yarı çapı ile ilgili ifadeler ilave edildi ve imalat denklemleri sırası ile aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_m = a_n \cdot \cos\theta_m + r \cdot \cos\theta_m \quad (7)$$

$$Y_m = b_n \cdot \sin\theta_m + r \cdot \sin\theta_m \quad (8)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (9)$$

Ancak (7), (8) ve (9) denklemlerine göre parmak freze çakısının yükseklik boyunca, XY düzlemine paralel düzlemlerde elips şeklindeki kesitleri işleyebilmesi için, Z' nin her hangi bir

değerine karşılık gelen a_n ve b_n değerlerinin de bulunması gerekir. Bunun için (1) denklemi,

$$X^2/(C \cdot Z_m/A) + Y^2/(C \cdot Z_m/B) = 1 \quad (10)$$

yukarıdaki gibi yeniden düzenlendi. $Y=0$ ve $X=0$ için, a_n ve b_n ifadeleri sırası ile,

$$a_n = \pm(C \cdot Z_m/A)^{1/2} \quad (11)$$

$$b_n = \pm(C \cdot Z_m/B)^{1/2} \quad (12)$$

şeklinde yazıldı. Daha sonra bu ifadeler (7) ve (8) denklemlerinde yerlerine yazılarak,

$$X_m = (C \cdot Z_m/A)^{1/2} \cdot \cos\theta_m + r \cdot \cos\theta_m \quad (13)$$

$$Y_m = (C \cdot Z_m/B)^{1/2} \cdot \sin\theta_m + r \cdot \sin\theta_m \quad (14)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (15)$$

denklemleri elde edildi. Parmak freze çakısının, (13), (14) ve (15) denklemlerine göre parçayı işleyebilmesi için, Z_m ve θ_m deki değişim aralıklarının da belirlenmesi gerekir.

Z_m için değişim aralığı, $0 \leq Z_m \leq 50$ mm ve θ_m açısı için değişim aralığı da $0 \leq \theta_m \leq 360^\circ$ olarak yazıldı (Şekil 3). Parmak freze çakısı bu değişim aralıklarına göre, G01 doğrusal enterpolasyon kodu ile hareket ettirildi ve paraboloid yüzey, gerçek ölçülerine göre imal edildi. Eliptik paraboloidin yüzeyi imal edilirken çakı merkezi payı için, G42 kodu kullanılmadı. Çünkü bu araştırmada, (13), (14) ve (15) denklemlerindeki parametrelerin işlenen yüzey üzerindeki etkilerinin incelenmesi düşünüldü.

ELİPTİK PARABOLOİD YÜZEYİN NC PROGRAMI İLE İŞLENMESİ

Eliptik paraboloid şeklindeki yüzeylerin, CNC dikey freze tezgahlarında imalatı için hazırlanan NC programı aşağıda yazıldığı gibidir.

```

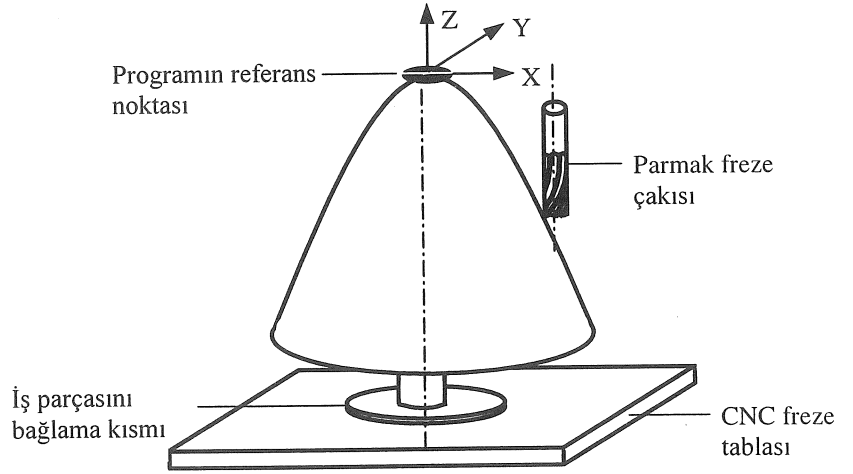
N05 G21;
N10 G90;
N15 G54;
N20 G40;
N25 T01;
N30 F50;
N35 M03 S1250;
N40 #0=3;
N45 #1=7;
N50 #2=81;
N55 #4=50;
N60 #3=360;
N65 #5=0.25;
N70 #6=0.05;
N75 #7=6;
N80 #10=0.05;
    
```

N85 #11=0;
 N90 G00 X0 Y0 Z0;
 N95 #8=#4/#6;
 N100 #40=#2*#4/#0;
 N105 #41=SQR #40;
 N110 M73 N#8;
 N115 #12=#2*#10/#0;
 N120 #13=#2*#10/#1;
 N125 #14=SQR #12;
 N130 #15=SQR #13;
 N135 #16=COS #11;
 N140 #17=SIN #11;
 N145 #18=#14*#16+#7*#16;
 N150 #19=#15*#17+#7*#17;
 N155 G01 X#18 Y#19;
 N160 G01 Z-#10;
 N165 #42=#5*#41/#14;
 N170 #9=#3/#42;
 N175 M73 N#9;
 N180 #20=COS #11;
 N185 #21=SIN #11;
 N190 #22=#14*#20+#7*#20;
 N195 #23=#15*#21+#7*#21;
 N200 G01 X#22 Y#23 Z-#10;
 N205 #11=#11+#42;
 N210 M74;
 N215 #10=#10+#6;
 N220 #11=0;
 N225 M74;
 N230 G00 Z2;
 N235 G28;
 N240 M30;

Hazırlanan NC programında, sırası ile aşağıdaki işlemler yapılmaktadır: N05 ile N35 satırları arası; program ve tezgah çalıştırma işlemlerinin yapıldığı kısım, N40 ile N55 satırları arası; sırası ile, A, B, C, Z_{max} gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı kısım, N60 ile N90 satırları arası; sırası ile, θ_{max} , θ_{nmax} , H_n , r , H_m , θ_m , gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı ve G01 X0 Y0 Z0 işleminin yapıldığı kısım, N95 ile N105 satırları arası; sırası ile, $N_1=Z_{max}/H_n$, $a_{max}=(C \cdot Z_{max}/A)^{1/2}$, gibi işlemlerin yapıldığı kısım, N110 ile N160 satırları arası; talaş kesme kalınlığının hesaplandığı döngü kısmı, N165 ile N170 satırları arası; her bir yeni kesiti işlemek için $\theta_n=\theta_{nmax} \cdot a_{max}/a_n$ ifadesi ile θ_n açısının ve $N_2=\theta_{max}/\theta_n$ döngü sayısının hesaplandığı kısım, N175 ile N210 satırları arası; paraboloid yüzeyin Z_{max} yüksekliği boyunca XY düzlemine paralel düzlemlerde elips kesitlerinin işlendiği döngü kısmı, N215 ile N225 satırları arası; $H_m=H_m+H_n$ ve $\theta_m=0$ işlemlerinin yapılarak talaş kesme yüksekliğinin hesaplandığı N110 numaralı satıra dönüş kısmı, N230 ile N240 satırları arası; programı durdurma işlemlerinin yapıldığı kısım.

Eliptik paraboloid yüzeyin 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 bağlandı (Şekil 4).



Şekil 4. Parçanın CNC freze tezgahına bağlanması ve işlenmesi

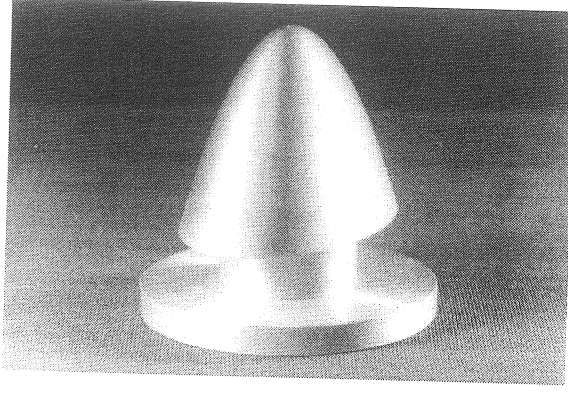
Şayet imal edilen parça birden fazla bağlamaya tabi tutulacaksa, ikinci ve daha sonraki bağlamalarda iş parçasının sıfır noktası değişebilir. Bu durum, parçanın hassas bir şekilde imal edilmesini engelleyebilir. Bunu ortadan kaldırmak için iş parçası, CNC freze tezgahının tablasına, bir torna tezgahının universal aynası ile bağlanabilir.

Yüzey, yukarıdaki program ile kaba ve ince işlenerek imal edilebilir. Bu çalışmada, yüzeyi kaba işlemek için çakı tezgahta bağlı iken programda ilgili satırlar aşağıdaki gibi yazıldı.

N30 F70;
 N35 M03 S1000;
 N65 #5=1.5
 N70 #6=0.75;
 N75 #7=6.25;
 N80 #10=0.75;

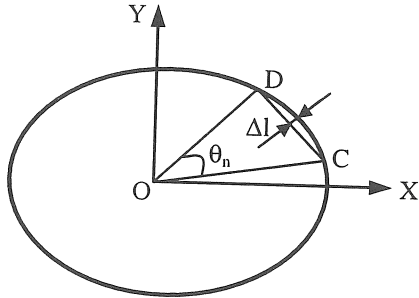
N30 numaralı satırda; çakının ilerlemesi 70 mm/dk, N35 numaralı satırda; iş milinin devri 1000 dev/dak, N65 numaralı satırda; θ_{nmax} açısı 1.5^0 seçildi, N70 numaralı satırda; minimum talaş kesme kalınlığı $H_n=0.75$ mm, N75 numaralı satırda; ince işleme için düşünülen talaş kesme payı, 0.25 mm olarak çakı yarıçapına ilave edildi (XY düzlemine göre) ve yine N80 numaralı satırda H_n 'in başlangıç değeri olarak 0.75 mm seçildi. Program seçilen bu değerlere göre çalıştırılarak eliptik paraboloid kabaca işlendi. Daha sonra, ince işlemek (son işleme) için ilgili satırlar ana programda yazıldığı gibi düzenlendi ve eliptik paraboloid ince olarak işlendi. İmal edilen yüzeyin pürüzlülüğü Mitutoyo SurfTest 211 marka bir

pürüzlük ölçme aleti ile $R_a=2.25 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 5).



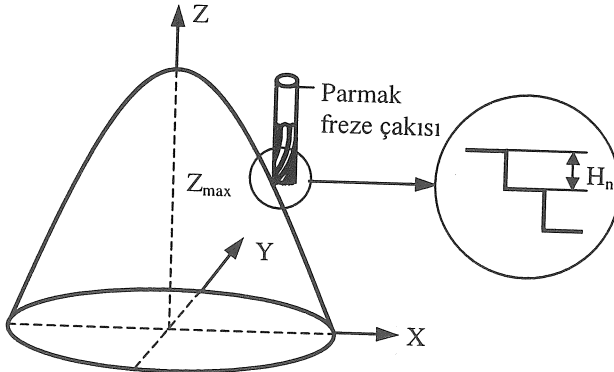
Şekil 5. İmalatı tamamlanmış paraboloid yüzey ($H_n=0.05 \text{ mm}$ ve $\theta_n=0.25^\circ$)

Bu program, θ_n ve H_n gibi önceden belirlenebilen hassasiyet değerlerine göre çalışır. Bu hassasiyet değerlerinin anlamları; θ_n için girilen değerler, eliptik paraboloid yüzeyin Z eksenı boyunca XY düzlemine paralel düzlemlere göre elipslerinin işleme hassasiyetini belirler (Şekil 6).



Şekil 6. θ_n açısı ve eliptik kesitin işleme hassasiyeti

H_n için girilen değerler ise, eliptik paraboloid şeklindeki yüzeyi, Z eksenı üzerinde Z_{max} yüksekliği boyunca işlemek için talaş kesme kalınlığını ifade eder (Şekil 7).

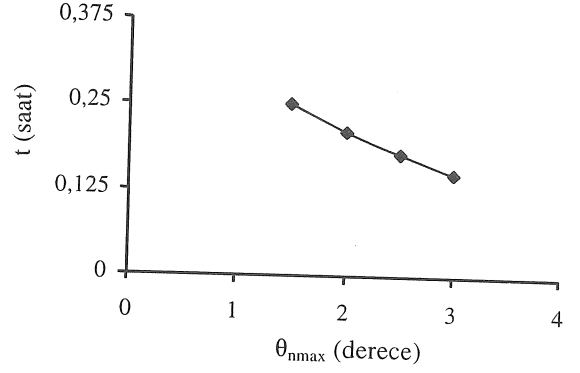


Şekil 7. Talaş kesme kalınlığı ve yüzeyin işleme hassasiyeti

Bu her iki değer (θ_n ve H_n) de, tezgah hassasiyeti dikkate alındığında 0.001 olabilir. Yine yukarıdaki NC programında, $A=B$ olarak seçilmesi halinde program döne paraboloid (dairesel kesitli) şeklindeki yüzeyleri de imal edilebilir.

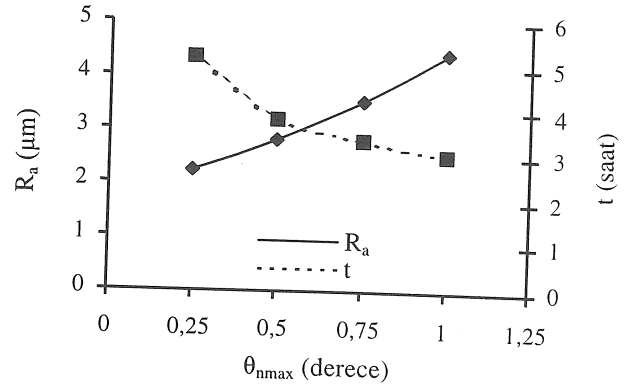
4. DENEY SONUÇLARI

Konik yüzeyin, hazırlanan program ile Dyna 2900 Myte tipi CNC freze tezgahında kaba işleme için, θ_{max} açısına göre imalat sürelerinin değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 8).



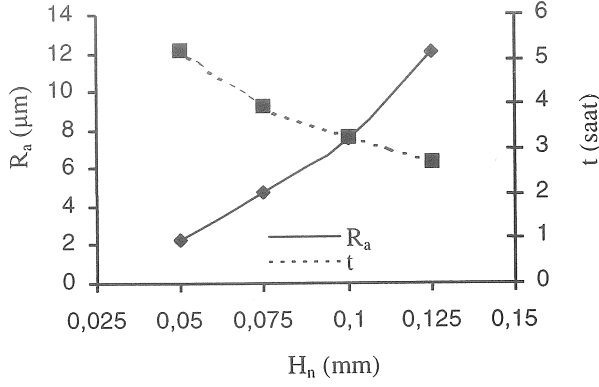
Şekil 8. Kaba işleme için θ_{max} açısı ve imalat süreleri

Burada kaba işleme için yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği verilmemiştir. Çünkü kaba işlemede yüzey pürüzlülük değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde değildir. Konik yüzeyin ince işlemede θ_{max} açısına göre, imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği ise aşağıdaki gibidir (Şekil 9).



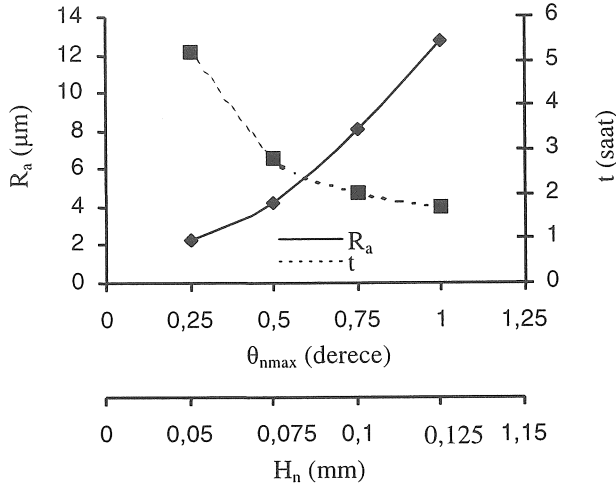
Şekil 9. İnce işleme için θ_{max} açısına göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

Yine aynı program ile konik yüzeyin ince işleme için H_n 'deki değişimlere göre, imal imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği de aşağıdaki gibidir (Şekil 10).



Şekil 10. İnce işleme için H_n değerine göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

Yine bunlarla beraber, hem $\theta_{n\max}$ ve hem de H_n 'deki değişimlere göre yüzeyin işlenmesi halinde, imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafikleri de aşağıdaki gibidir (Şekil 11).



Şekil 11. $\theta_{n\max}$ ve H_n değerlerine göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

TARTIŞMA

Bu çalışmada, paraboloid şeklindeki yüzeylerin hazırlanan genel bir imalat programı ile dik işlem merkezli CNC freze tezgahında, θ_n ve H_n gibi iki hassasiyet değeri ile imal edilebileceği görülmüştür. θ_m açısındaki değişimlerin çok büyük seçilmesi halinde, eliptik paraboloidin hassas bir şekilde imal edilemeyeceği görülmektedir (Şekil 6). Çünkü θ_n açısı büyüdükçe, CD giriş uzunluğunun büyümesine bağlı olarak eğriden sapma (Δl) miktarı artacağından yüzeyin işlenme hassasiyetinin bozulmasına sebep olmaktadır. θ_n açısı küçüldükçe, eğriden sapma miktarı azalacağından yüzeyin daha hassas imal edileceği görülmektedir. Bu durumun imalat süresini uzatacağı ancak bunun yanında yüzeyin pürüzlülüğünü azaltacağı görülmüştür (Şekil 9). Yine

bunlarla beraber, paraboloid yüzey işlenirken θ_n açısının aynı sabit değerde olması, paraboloidin Z eksenini boyunca her bir kesitinin farklı bir hassasiyet ile işlenmesine ve kesitlerin büyümesine bağlı olarak da, parçanın yüzey hassasiyetinin bozulmasına sebep olduğu görülmüştür. Çünkü Z değerlerindeki artımlara bağlı olarak (13) ve (14) denklemleri gereği, X_m ve Y_m uzunlukları büyümektedir. Bu büyümeye bağlı olarak da, her bir kesit için eğriden sapma miktarı artmakta ve yüzeyin aynı hassasiyet ile işlenmesi engellenmektedir. Bunun için θ_n açısının, piramidal yüzeyin maksimum kesitinin dikkate alınarak hesaplanmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, eliptik paraboloidin her bir kesiti için θ_n açısı, yüzeyin maksimum kesitini işlemek için seçilen $\theta_{n\max}$ açısı dikkate alınarak, $\theta_n = \theta_{n\max} \cdot a_{\max} / a_n$ ifadesi ile hesap edildi. Bu bağıntıya göre elipslerdeki sapma miktarı (Δl) eşit tutularak, paraboloid yüzeyin kesitleri aynı hassasiyette imal edilmiştir (Şekil 5). Yine seçilecek olan H_n değeri ne kadar küçük olursa, Z eksenini boyunca Şekil 7' deki merdivenlerin yüksekliği azalmakta ve buna bağlı olarak da, yüzeyin işlenme hassasiyeti artmaktadır. Bu durumun da imalat süresini uzatacağı ancak bunun yanında yüzey pürüzlülüğünü azaltacağı görülmüştür Şekil (10).

Bu çalışmada, eliptik paraboloid yüzeyi işlemek için piyasalarda uzuz ve yaygın olarak kullanılan düz alınlı parmak freze çakısı seçilmiştir. Aynı yüzeyin küresel uçlu parmak freze çakısı ile işlenme durumunun araştırılmasında da fayda vardır. Yine paraboloid yüzeyin maksimum kesitinden tepe noktasına doğru işlenmesi halinde; CNC frezenin iş milinin, yüzeyin işleneceği kısma çarpma durumu oluşabilir. Bu problem, helis boyu uzun olan parmak freze çakıları ile giderilebilir ancak bu durumda da, bu çakı parçayı işlerken esneyebilir ve yüzeyin ölçülerine göre imal edilmesini engelleyebilir. Yine eliptik paraboloid yüzeyin dairesel kesitli silindirik malzemeden imal edilmesi halinde, çakının daha fazla talaş keseceği ve buna bağlı olarak da daha çabuk körleneceği görülmektedir. Çünkü bu durumda yüzeyin açılacağı kısmın stok hacmi yaklaşık olarak 219.343 cm^3 iken bu kısmın prizmatik olması halinde, stok hacmi 184.926 cm^3 dır (Şekil 2). Ancak dikdörtgen kesitli malzeme kaba işlenirken çakının taslak parçanın köşe kısımlarında, darbeye maruz kaldığı görülmüştür.

SONUÇ

1. Mühendislik tasarımlarında kullanılan paraboloid yüzeylerin düz alınlı parmak freze çakıları ile imalatları genelleştirilmiş ve bu çakılar ile yüzeyin işlenme durumları belirlenmiştir.

2. Konik yüzeylerin CNC tezgahlarında, θ_{nmax} ve H_n gibi iki hassasiyet değerleri ile imal edilebileceği görülmüştür.
3. İmalat denklemlerindeki θ_n ve H_n değerlerinin hem işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğünü hem de imalat zamanlarını etkilediği belirlenmiştir.
4. Konik yüzeyler işlenirken yüzeyin her bir kesitinin aynı hassasiyet değeri ile imal edilebilmesi için θ_n açısının, yüzeyin maksimum kesitinin dikkate alınarak hesaplanmasının faydalı olacağı görülmüştür.

INVESTIGATION OF MANUFACTURING OF A PYRAMIDAL SURFACE BY USING END MILL ON CNC MILLING MACHINES

The aim of this study is to manufacture an elliptical paraboloid which is one of the pyramidal surfaces by using end mill on the CNC milling machines. For this purpose, the manufacturing equations were obtained and it was shown how automatic NC programme was prepared by using macros programme with Fancu operating system for the calculation of tool paths. A work piece was manufactured on the DM 2900 CNC milling machine by using the prepared programme. In the result of this manufacturing process, it was seen that the parameters in the manufacturing equations affected both machining accuracy of the manufactured surface and the production time.

Keywords : Elliptical paraboloid surface, Macro programming, CNC vertical milling machine.

KAYNAKÇA

1. Daoyuan, Y., Zhengcheng, D., Xiong, Z., and Jinning, L., Local Discretization Without Tolarence in The CAD/CAM and NC Programming of a Sculptured Surface, *Journal of Materials Proccesing 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 Freefrom 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 Engeneering*, Vol. 36, No.2, 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 Mechatronics Inc. Ltd. 926 W. Maude Ave. Sunnyvale, Ca.94086 U.S.A., 1996.