

축대칭 제품의 디프 드로잉 공정에 대한 금형설계 및 금형가공 시스템

박 상 봉*, 최 영**, 김 병 민***, 최 재 찬***

* 동의공업전문대학, 금형설계과

** 부산대학교 대학원 기계설계공학과

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

Key Words : CAD/CAM System, Tool Design, Automatic Modelling, Blanking Die, Deep Drawing Die, Rules Base, Tool Path, NC Command

ABSTRACT

In this study, a CAD/CAM system for axisymmetric deep drawing processes has been developed. An approach to the system is based on the knowledge based system. Under the environment of CAD/CAM software of Personal Designer, the system has been written in UPL. The geometries of intermediate and final object in deep drawing process, including processes parameters are input for the CAD/CAM system. The input data can be obtained from the results of Pro_Deep. The parts drawing of die sets for each process is generated in tool design module of the CAD/CAM system. Also, the die assembly drawings can be obtained. NC commands for machining of the part can be generated in the developed CAD/CAM system.

1. 서 론

디프-드로잉 가공공정을 설계하는 문제에 대하여 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이러한 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 공정설계 자동화에 관한 연구와 설계된 공정에 대한 금형설계의 자동화에 관한 연구가 보고되고 있다.

디프-드로잉 공정설계 자동화에 관해, "AGFPO"시스템⁽¹⁾은 디프-드로잉에 있어서 축대칭 회전형상 제품에 적용되었으며, 디프-드로잉 공정과 중간 보조공정을 정식화하여 시스템에 구체화시켰다. "Deep Drawing"시스템⁽²⁾은 사용자의 중간 판단이 반영되는 대화형 프로그램이며 사각컵 등의 특수 형상은 원통형으로 등가 시켜 드로잉 용력을 계산하는 방법으로 특수형상을 취급하였다. Altan⁽³⁾ 등은 축대칭 판재 성형에 있어 지식베이스 시스템을 개발하였고, Zhu⁽⁴⁾ 등은 디프-드로잉 공정설계에 관한 전문가 시스템인 "PAD_ES"를 개발하였다. Tisza⁽⁵⁾는 박관금속의 성형에 관한 전문가 시스템을 발표하였다. 또한 저자들은 축대칭 디프-드로잉 공정설계 시스템인 Pro_Deep^(6,8)을 개발하였다.

1987년 Tisza⁽⁹⁾는 디프-드로잉 공정의 CAD/CAM 시스템에 관해 기술하고 블랭크 설계와 이의 레이아웃 설계에 대한 연구결과를 발표하였으며, 최근 금속 성형공정의 전문가 시스템⁽¹⁰⁾을 발표하고 디프-드로잉 공정설계 결과를 제시하였다. Choi⁽¹¹⁾는 디프-드로잉 공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구를 통하여 설계된 공정에 대한 단동형 프레스에서 드로잉 금형의 설계규칙을 정식화하였고 자동화된 금형설계를 수행하여 금형의 총조립도 및 부품도를 시스템의 출력으로 하였다. 개발된 Pro_Deep^(6,8)의 결과를 이용하여 단동형 프레스의 드로잉 금형과 블랭킹 금형의 부품도를 생성하고 이를 이용하여 총조립도 출력하고 펀치 및 다이 등의 부품을 CNC 공작기계에서 가공할 수 있는 NC 가공 데이터를 생성하는 시스템을 개발하였다.

2. 시스템의 구성

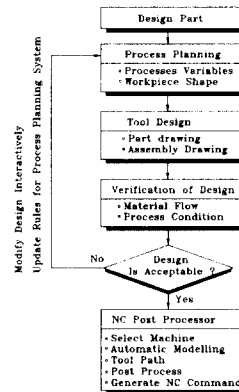


Fig.1 CAD/CAM/CAE system for deep drawing processes

디프-드로잉 공정에 관한 CAD/CAM 시스템의 구성은 Fig.1과 같다. 디프-드로잉으로 가공가능한 제품도면이 규칙베이스 시스템을 기초로 하는 디프-드로잉 제품의 공정설계 시스템⁽⁶⁻⁸⁾(Pro_Deep)에 입력되어 성형 가능한 공정을 생성하게 된다. 원형 블랭크, 중간단계 컵과 최종제품에 대해 형상과 치수(N_list) 및 각 드로잉의 공정변수가 금형설계 모듈로 입력된다. 설계되어지는 단동형 프레스 금형은 원형 소재의 블랭킹 금형⁽¹⁴⁾, 하형가동 블랭크 홀더 있는 녹아웃 방식(knockout with lower moving blank holder type)의 초드로잉 금형⁽¹¹⁾과 블랭크홀더 있는 녹아웃 방식의 재드로잉(knocking knockout type with blank holder) 금형⁽¹¹⁾으로 한정하였다. 금형구조와 금형부품의 형상이 결정

되어 있음으로 원형블랭킹과 각 드로잉공정에 대해 설계 규칙에 따라 부품의 치수를 결정하는 것으로 단동형 프레스 금형이 자동설계된다.

Fig.1에 보인 설계검증 모듈은 가공공정의 성형 시뮬레이션으로 공정조건에 대해 성형성을 검증하게 되며 해석 결과에 따라 설계된 공정을 수정하고 지식베이스를 보강할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 설계검증 모듈은 생략하였다. 설계된 금형요소에 대해 부품도의 생성, 이를 이용한 총조립도 및 각 부품에 대해 NC가공 데이터를 최종적으로 생성하는 시스템을 개발하였다.

2.1 디프-드로잉 공정설계 시스템⁽⁶⁻⁸⁾

G&TR 기법을 적용한 디프-드로잉 공정설계 시스템⁽⁶⁻⁸⁾(Pro_Deep)의 개략도는 Fig.2와 같다.

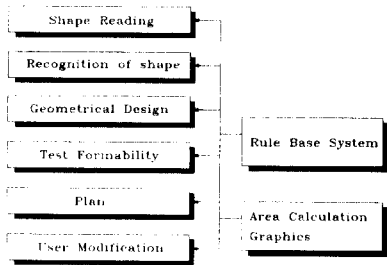


Fig.2 Block diagram of "Pro_Deep" system

공정설계 시스템의 입력은 AutoCAD상의 실제도면으로 한다. 입력(input) 모듈은 입력된 도면을 자동인식하여 도면 데이터를 공정설계 시스템에서 취급이 용이한 데이터 형태로 변환한다. 주요한 형상변화에 따라 공정을 가정하는 형상설계(geometrical) 모듈에서 기초적인 공정설계가 이루어지고 성형성(formability)을 검토하고 공정을 수정하는 검사 및 수정(test & rectification) 모듈을 거치면 성공적인 공정을 창생할 수 있다.

2.2 CAD/CAM 시스템

디프-드로잉 금형의 CAD/CAM 시스템의 개략도를 Fig.3에 나타내었다. 시스템은 CAD/CAM 소프트웨어인 Personal Designer⁽¹²⁾에서 UPL(User Programming Language)을 사용하여 개발하였다. 3차원 모델링(wire frame, surface and solid modelling), 공구경로 생성(tool path generation)과 후처리(post processing) 등 CNC 가공 전반에 관한 Personal Designer⁽¹²⁾의 명령어를 UPL을 이용하여 프로그램 하였다.

디프-드로잉 공정설계 시스템⁽⁶⁻⁸⁾(Pro_Deep)에서 생성된 N_list의 데이터와 공정변수를 개발된 CAD/CAM 시스템에 입력하여 자동설계된 금형요소의 부품도를 창생하고 이를 이용하여 총조립도를 얻을 수 있다. 생성된 부품의 형상을 결정짓는 변수를 3차원 모델링 데이터로 활용하여 공구경로의 생성, 후처리를 통하여 NC명령어를 생성하게 된다.

3. CAD/CAM 시스템의 규칙베이스

3.1 금형설계 규칙베이스

본 연구에서는 스트림으로부터 원형 소재를 가공하는

블랭킹 공정과 디프-드로잉 가공 공정에 대한 단동형 프레스 금형의 CAD/CAM 시스템을 구축하였다. Choi⁽¹¹⁾는 디프-드로잉 금형설계의 전산화에 관한 연구를 통하여 설계 규칙을 정식화하였다. 본 연구에서는 제안된 디프-드로잉 금형설계 규칙⁽¹¹⁾을 이용하였다.

원형 블랭크의 타발공정에 대한 중요한 금형설계 규칙⁽¹³⁻¹⁶⁾은 다음과 같다.

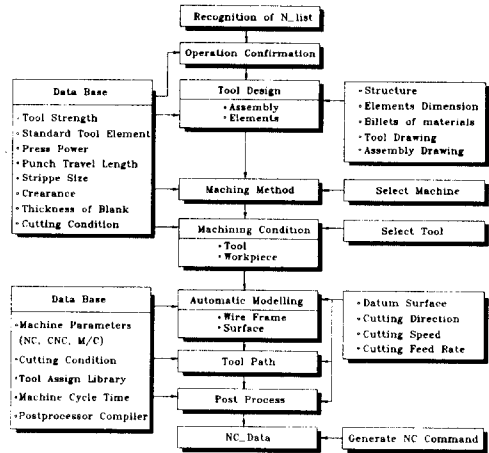


Fig.3 Block diagram of CAD/CAM system for deep drawing dies

규칙1) 원형블랭크의 타발력은 아래의 식으로 계산한다.

$$P = \pi \times d \times t \times \tau \quad (1)$$

여기서, d는 원형블랭크 직경, t는 판재두께이고 τ 는 전단강도이다.

규칙2) 다이 두께는 아래의 식으로 결정된다.

$$H_0 = \sqrt[3]{P \times K} \quad (2)$$

여기서, P는 타발력이고 K는 보정계수이다.

규칙3) 다이두께의 최소두께는 10.5mm이상이다.

규칙4) 대량 생산의 경우 다이두께는 3-5mm의 재연마량을 가산하여 결정한다.

규칙5) 전단날과 다이 블록의 바깥모서리 사이의 최소거리는 다이 두께로 한다.

규칙6) 다이 받침판의 크기는 다이 크기와 동일하게 적용하며 다이 받침판의 두께는 타발력에 대해 Table 1을 이용하여 결정한다.

Table 1. Backing plate thickness for punch and die

blanking force (ton)	Backing plate thickness for punch and die(mm)
~ 25 ton	10 t
25 ton ~ 50 ton	13 t
50 ton ~ 100 ton	16 t
100 ton ~ 200 ton	19 t
200 ton ~	22 t

규칙7) 펀치 고정판의 외곽 크기는 다이 크기와 동일하게 하며 펀치 고정판의 두께는 19t~22t로 한다.

- 규칙8) 펀치 받침판의 외곽 크기는 다이 크기와 동일하게 하며 펀치 받침판의 두께는 타발력에 대해 Table 1을 이용하여 결정한다.
- 규칙9) 다이세트는 KS규격 4123에 따라 형상과 치수가 결정된다.
- 규칙10) 펀치 길이는 작업가능 길이+재연마량(5~8mm)이 가산되어 결정된다.
- 규칙11) 원형 펀치의 직경은 블랭크 적경에서 틈새를 뺀 치수로 결정된다.
- 규칙12) 스트리퍼 플레이트의 전장은 다이 블록의 전장과 같이 한다.
- 규칙13) 고정 스트리퍼의 경우 형상과 치수는 아래와 같다.

$$H_{stripper} = t + 2.4\text{mm}, A_{stripper} = 1/7 \times t + 0.5\text{mm}$$

$$T_{stripper} = (W/30) + 2t \text{ mm}, h_{stripper} = H_{stripper} + T_{stripper} \quad (3)$$

3.2 가공 규칙베이스

개발된 CAD/CAM 시스템에서 가공데이터(NC 명령어)는 가공 규칙베이스를 이용하여 생성된다. 이러한 가공 규칙은 현장의 데이터북⁽¹⁷⁻¹⁸⁾과 핸드북⁽¹⁹⁾을 이용하였다. 시스템에 적용된 중요한 가공 규칙은 다음과 같다.

- 규칙14) 절삭속도는 아래의 식에 의한다.

$$V = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (\text{m/min}) \quad (4)$$

여기서, N 회전수(rpm), V 절삭속도(m/min)이고 D는 가공물의 경(mm)이다.

- 규칙15) 밀링가공에서 이송은 다음 식에 의한다.

$$f_z = \frac{F}{Z \cdot N} \quad (\text{mm/날}) \quad (5)$$

여기서, f_z는 날당 이송(mm/날), F는 테이블 이송(mm/min), Z는 날수이고 N은 회전수(rpm)이다.

- 규칙16) 선삭가공에서 이송은 다음 식에 의한다.

$$f = \frac{F}{N} \quad (\text{mm/rev}) \quad (6)$$

여기서, f는 1회전당 이송(mm/rev), F는 1분당 이송(mm/min), N은 주축 회전수(rpm)이다.

- 규칙17) 가공물의 형상이 허용하는 한 이프로우치 각이 큰 공구를 선정한다.
- 규칙18) 사용하는 선반에 적용 가능한 최대의 상크를 선정한다.
- 규칙19) 가공물의 형상이 허용하는 한 인선강도가 높은 인서트 형상을 선정한다.
- 규칙20) 가공물의 형상이 허용하는 한 노즈반경이 큰 인서트를 선정한다.
- 규칙21) 경질삭 및 사상질삭에는 적용 코너수가 많은 인서트를 선정한다.
- 규칙22) 절삭조건과 절입량이 허용하는 한 작은 인서트를 선정한다.
- 규칙23) 가공조각이 허용가능한 범위에서 최대 절입량을 선정한다.
- 규칙24) 가공조건이 허용가능한 범위에서 최대 이송량을 선정한다.

4. 시스템의 적용

개발된 시스템을 모터 하우징(motor housing) 제품에 적용하여 그 타당성을 고찰하고자 한다. 실제 현장에서 생산되고 있는 제품의 공정도를 Fig.4에 나타내고 디프-드로잉 공정설계 시스템인 Pro_Deep의 결과를 Fig.5에 보인다⁽⁸⁾.

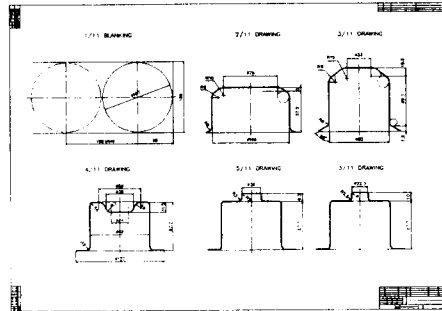


Fig.4 Sequence drawing for the deep drawing parts of the "motor housing" - Industrial practice

	1	2	3	4	5
1) Depth	0.44	0.74	0.51	0.70	0.58
2) Inner dia	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
3) Outer dia	1.75	3.51	3.51	1.75	3.51
4) Flange dia	2.43	2.08	1.57	3.24	0.83

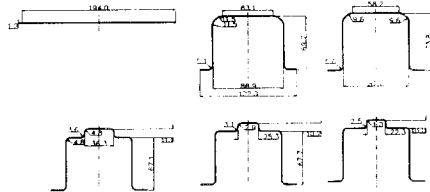


Fig.5 Sequence drawing for the deep drawing parts of the "motor housing" - Output of "Pro_Deep"

본 연구에서 개발된 CAD/CAM 시스템의 입력으로 Pro_Deep의 출력을 사용하여 다음의 결과를 얻었다. 원형의 소재를 가공하는 블랭킹 공정에 대한 금형요소 부품도를 Fig.6에 나타낸다. 체결용 부품인 육각 구멍볼이 볼트와 가이드 부시는 표준부품으로 부품도에 생략하였다. Fig.6에 나타낸 금형부품은 제작부품이다.

Fig.7에 Fig.6의 부품도를 이용하여 총조립도를 나타낸 것이다.

Fig.5에 보인 공정 중 최종 단계의 디프-드로잉용 금형의 부품도를 Fig.8에 나타낸다. Fig.9에 나타낸 금형부품은 제작부품이며, 이들 부품에 대한 가공 데이터를 얻을 수 있다.

개발된 시스템에서는 Fig.6에 보인 블랭킹 금형, 초드로잉용 금형 및 Fig.8에 보인 제드로잉용 금형구조에 대해 각 부품의 치수를 결정하도록 되어 있다. 이러한 점은 여러 가지 초드로잉과 제드로잉의 다른 금형구조에 대해 시스템을 확장하여야 할 것이다.

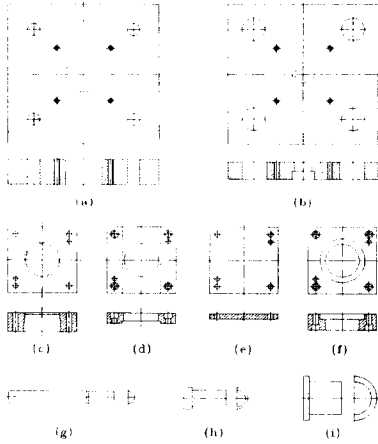


Fig.6 Parts drawings for the blanking die
 (a) lower holder (b) upper holder (c) die
 (d) stripper (e) backing plate (f) punch holder
 (g) guide post (h) shank (i) punch

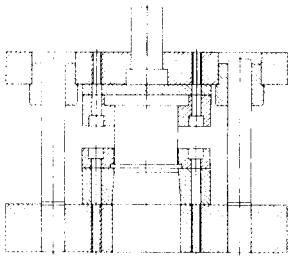


Fig.7 The construction of blanking die

Fig.10에 최종 단계의 디프-드로잉 가공에 있어 다이의 CNC 가공에서 공구경로(tool path)를 나타내었다. (a)는 드릴링(Drilling) 가공이며, (b)는 CNC turning에서 황삭가공이고 (c)는 정삭가공이다.

Fig.11에는 펀치받침판의 3차원 가공의 공구경로를 보인다. 이러한 3차원 데이터는 펀치받침판의 형상이 결정되어 있고 금형설계에서 각부분의 치수가 결정되므로 쉽게 생성할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 디프-드로잉 가공에 필요한 금형의 설계 및 가공의 자동화를 위한 시스템을 개발하였다. 시스템을 CAD/CAM 소프트웨어인 Personal Designer⁽¹²⁾에서 UPL(User Programming Language)을 사용하여 개발함으로써 금형부품의 3차원 모델링, 공구경로 생성과 후처리 등을 구현할 수 있었다. 또한 이미 개발된 디프-드로잉 공정설계 시스템인 Pro_Deep의 출력을 이용하도록 하여 공정설계와 금형설계 및 금형가공의 자동화에 대한 기초적 시스템을 구축하였다.

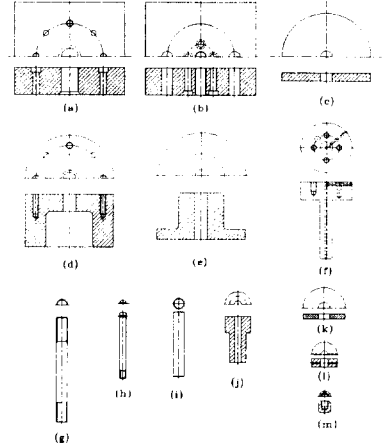


Fig.8 Parts drawings for the final deep drawing
 (a) die holder (b) punch holder (c) plate, cushion pin
 (d) die (e) blank holder (f) punch (g) rod, spring bolt
 (h) knockout bolt (i) cushion pin (j) shank
 (k) plate, spring supporter (l) bolt stopper (m) knockout pad

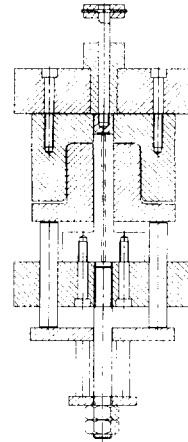


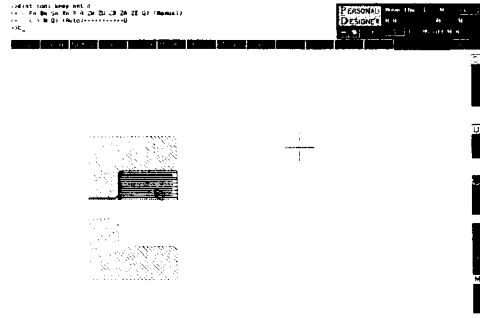
Fig.9 The construction of final deep drawing die

개발된 시스템은 디프-드로잉 가공공정의 금형설계와 금형가공의 자동화에 대한 원형(prototype)이다. 시스템은 블랭킹, 초드로잉과 재드로잉에 대해 한 가지 씩의 금형구조에 대한 설계를 할 수 있으나 이를 여러 가지 드로잉의 금형구조에 대해 확장해야 할 것이다. 또한 본 연구에서 생략된 디프-드로잉 공정의 검증과정을 이루기 위해서는 유한요소 시뮬레이션 코드와 자동 연결될 수 있도록 시스템의 출력을 개선하여야 할 것이다.

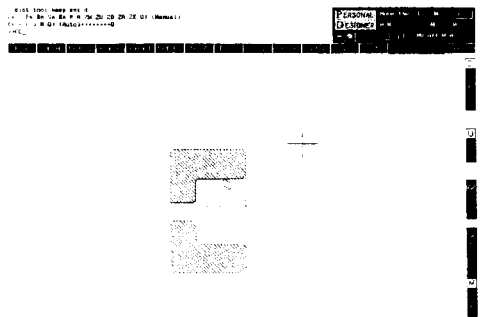
참고문헌

1. G. Eshel, M. Barash and T. C. Chang, "A Rule-based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outlines", Computer-Aided Intelligent Process Planning, Vol.19, pp.1-18, 1985.

2. 진인태, "퍼스널 컴퓨터에 의한 다이프 드로잉 공정설계 전산화에 관한 연구", 부산대학교, 박사학위논문, 1989.
3. S. K. Sitaraman, G. L. Kinzel and T. Altan, "A Knowledge-Based System for Process-Sequence Design in Axisymmetric Sheet-Metal Forming", J. Mater. Process. Technol., 25, pp.247-271, 1991.
4. Zhu Jin, Wang Xuewen and Ruan Xueyu, "An Expert System for Process Planning of Deep-Drawing", Proc. 4th ICTP, Beijing, China, pp. 1875-1880, 1993.
5. M. Tisza, 1993, "Expert System for Sheet Metal Forming", Proc. 4th ICTP, Beijing, China, pp.1667-1672.
6. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축대칭 디프-드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구", '95추계학술대회논문집, 한국소성가공학회, PP.147-154, 1995
7. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축대칭 디프-드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (I)", 한국소성가공학회(투고중).
8. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 이 중, "축대칭 디프-드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (II)", 한국소성가공학회(투고중).
9. M. Tisza, "A CAD/CAM System for Deep-Drawing Processes", Proc. 2nd ICTP, Stuttgart, pp.1667-1672, 1987.
10. M. Tisza, "Expert Systems for Metal Forming", J. Mater. Process. Technol., 53, pp.247-271, 1995.
11. 최재찬, "퍼스널 컴퓨터에 의한 다이프 드로잉 공정 및 금형설계 전산화에 관한 연구", 한국과학재단, 1988.
12. Computervision, CAD/CAM software, Personal Designer Rev. 6.0, 1995
13. 김 철, 최재찬, 김병민, 이승민, "스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 자동화된 공정설계 및 금형설계시스템", '95추계학술대회논문집, 한국정밀공학회, pp.642-647, 1995.
14. 孫良彦, "金型設計" 기진연구사, 1986.
15. 金世煥, 韓允熙, 李承熙, "프레스 金型設計 資料集", 1992.
16. 한국공업규격, KS B4123, 프레스 금형용 강제 다이 세트 해설, 1993.
17. 住友電工, "94 철삭공구", 1994
18. 코오로이 한국야금(주), "코오로이 철삭공구", 1994.
19. Misumi, "Face standard components for press dies", 1995

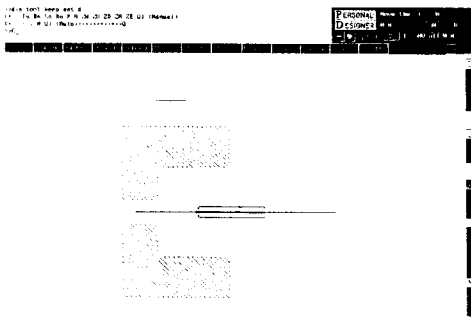


(b) roughing of CNC Lathe



(c) fining of CNC Lathe

Fig.10 The generated tool path of die for final deep drawing process



(a) drilling of CNC Lathe

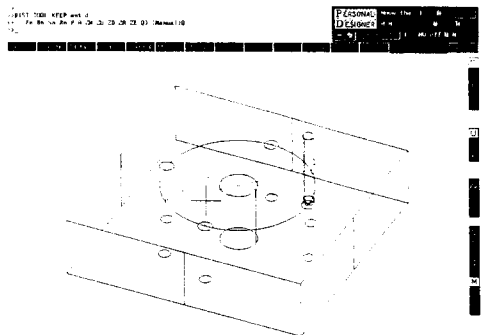


Fig.11 The generated tool path of die holder for final deep drawing process