

## 박판제품의 블랭킹 및 굽힘 가공을 위한 통합적 공정 및 금형설계와 가공시스템

김재훈\*, 최재찬\*\*, 김철\*\*

\* 부산대학교 대학원, \*\* 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

### An integrated process planning, die design and working system for blanking and bending of sheet metal product

J.H. Kim, J.C. Choi, C. Kim

#### Abstract

This paper describes a research work of developing a computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) of irregular shaped sheet metal product for blanking or piercing and bending operation. An approach to the system is based on the knowledge-based rules. Knowledge for the system is formulated from plasticity theories, experimental results and the empirical knowledge of field experts. This system has been written in AutoLISP on the AutoCAD and in customer tool kit on the SmartCAM with a personal computer and is composed of nine modules. the system is designed by considering several factors, such as material and thickness of product, complexities of blank geometry and punch profile, diameter and material of a wire, and availability of press. This system is capable of unfolding a formed sheet metal to give flat pattern and automatically account for the adjustment of bending allowances to match tooling requirements by checking dimensions and generating NC data automatically according to drawings of die-layout module. Results carried out in each module will provide efficiencies to the designer and the manufacturer of blanking or piercing and bending die in this field.

**Key Words** : CAD/CAM, Blanking, Piercing, Bending, Flat pattern, NC data

#### 1. 서론

최근 산업의 소형화, 경량화 및 고속화의 경향에 따라 펀치와 다이를 이용하여 판재로부터 원하는 형상의 부품을 생산하는 전단 및 굽힘가공에서도 부품의 호환성 및 정밀도의 향상 측면에서 각종 금형설계의 표준화가 절실하게 요구되고 있다. 그러나, 전단 및 굽힘가공의 경우에 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되어왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1, 2]</sup> 1971년에 Shaffer<sup>[1]</sup>가 Progressive Die Design by Computer(PDDC) system을 개발했으며 뒤에 Fogg와 Jaimson<sup>[2]</sup>은 다이-레이아웃에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 고려한 한층 더 개선된 PDDC system을 개발했다. 그러나, 이 시스템의 단점은 반자동이고 긴 공정시간이 소요된다는 것이다. Shibata 와 Kunitomo<sup>[3]</sup>는 블랭크-레이아웃과 다이-레이아웃의 화면출력만을 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였고, Nakahara<sup>[4]</sup> 등은 프로그램시브 다이-레이아웃을 위한 시스템을 개발하였다. 또한 최근에는 금형 제작 과정에서 많은 시간과 인력을 필요로 하는 공정 및 금형 설계에 있어서 컴퓨터의 정확하고 신속한 처리로 설계시간 단축을 통한 생산성 향상이 요구되며, CAD 데이터를 활용하여 금형 부품의 가공을 수행할 수 있는 CAM시스템의 개발이 시급히 요청되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 CAD단계에서 전단 및 굽힘 가공에 의해서 만들어지는 박판제품에 대해, 각 공정

에 필요한 설계변수를 고려하여 결함이 없고 완벽한 공정설계가 가능하도록 플레이트패턴-레이아웃모듈, 가공가능성검사모듈, 블랭크-레이아웃모듈, 스트립-레이아웃모듈을 개발하였고, 창출된 공정도에 따라 필요한 금형부품을 설계하여 도면으로 창출시키는 다이-레이아웃모듈을 개발하였다. 또, CAD단계에서 만들어진 금형도면들을 데이터전송방식으로 CAM시스템으로 전달한다. 이때 사용되는 CAM시스템은 SmartCAM 소프트웨어이며, CAM소프트웨어 환경으로 CAD데이터를 변환시키는 데이터-변환모듈, 변환된 데이터로 인식한 금형도면의 블랭크 형상을 모델링하는 모델링모듈, 모델링된 블랭크 형상에 따라 NC 가공데이터를 자동으로 창출시키는 포스트-프로세스모듈을 개발했다.

#### 2. 시스템의 구성

본 시스템은 입력 및 형상처리모듈, 플레이트패턴-레이아웃모듈, 가공가능성 검사모듈, 블랭크-레이아웃모듈, 스트립-레이아웃모듈, 다이-레이아웃모듈, 데이터-변환모듈, 모델링모듈 및 포스트-프로세스모듈로 구성되어 있다. 그리고, 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 각 모듈들은 규칙과 데이터 베이스를 공유하므로 수행중 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 또한 시스템의 진행방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였고 시스템의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

본 시스템의 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

##### 2.1 입력 및 형상처리모듈(input & shape treatment

module)

제품형상을 AutoCAD상에 직접 그리거나 도면화된 파일을 스크린 상에 나타내어 소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건 등을 입력하면, 입력모듈에서는 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들이고 형상처리모듈에서는 제품의 형상데이터를 설계에 용이한 수치데이터로 변환시켜 저장한다. 변환된 수치데이터들은 내부형상, 외부형상 및 굽힘선에 대한 수치리스트로써, 시스템의 각 모듈들에서 데이터로 사용된다.

## 2.2 플랫패턴-레이아웃모듈(flat pattern-layout module)

플랫패턴-레이아웃모듈은 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 제품도면을 입력된 굽힘반경, 굽힘각도, 소재의 재질 및 두께, 내부형상, 외부형상 및 굽힘선에 대한 수치리스트로 굽힘여유량을 계산하여 창출되어진 펼친형태의 도면을 그래픽 형태로 스크린상에 출력시킨다. 이 모듈에서 굽힘방향은 자동으로 인식되고, 굽힘선들은 중립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치한다.

## 2.3 가공가능성 검사모듈(production feasibility check module)

가공가능성 검사모듈은 플랫패턴-레이아웃모듈에서 구한 블랭크의 정보로서, 제품의 가공가능성을 검사하는 모듈이다. 블랭크의 블랭킹 및 피어싱의 가공가능성을 검사할 경우, 내부형상 사이의 거리, 피어싱될 구멍의 직경, 제품의 코너 및 필렛반경을 데이터 베이스에 저장된 한계치수와 비교하고, 블랭크의 굽힘가공의 가공가능성을 검사할 경우에는 굽힘선과 내부형상 사이의 거리를 한계치수와 비교하여 가공가능한 기하학적 영역을 제시한다.

## 2.4 블랭크-레이아웃모듈(blank-layout module)

블랭크-레이아웃모듈은 스트립의 압연방향에 대하여  $\pm 30^\circ$  밖의 영역과 여러개의 굽힘가공을 순차이송가공으로 수행할 수 있는 영역을 동시에 만족시키는 굽힘가공가능영역에서 제품의 최외각 여유폭을 고려한 후, 재료의 이용률을 최대로 하기 위하여 블랭크들을 스트립에 배열하는 모듈이다. 불규칙형상 제품에 대하여 단일배열 뿐만 아니라 동형쌍배열 및 이형쌍배열에 대해서도 굽힘가공가능영역에서 재료의 이용률을 최대로 하는 블랭크-레이아웃도면을 창출시킬 수 있다.

## 2.5 스트립-레이아웃모듈(strip-layout module)

스트립-레이아웃모듈은 굽힘가공가능영역에서 최대의 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃에 대하여 스트립-레이아웃이 자동으로 수행되도록, 제품의 외부영역에서 편치형상을 자동으로 분할시켜 피어싱을 수행한다. 또한 이 모듈에서는 분할된 블랭크의 각 형상별로 다이면압을 견딜 수 있는 다이블랭크의 크기에 따른 공정순서와 여러개의 굽힘공정이 순차이송가공으로 가능한 공정순서를 결정한다. 굽힘공정에 대한 스트립-레이아웃은 굽힘가공이 이루어진 후의 평면도로써 창출된다.

## 2.6 다이-레이아웃모듈(die-layout module)

다이-레이아웃모듈은 스트립-레이아웃모듈에서 얻은 공정에 대한 플레이트상의 공구배치 정보를 이용하여 설계규칙을 만족하는 금형구조와 부품들을 자동적으로 설계한다.

## 2.7 데이터-변환모듈(data-conversion module)

데이터 변환모듈은 시스템의 CAD부분인 다이-레이아웃모듈에서 받아들인 다이 블랭크의 형상 데이터를 SmartCAM 소프트웨어 환경에서 인식 가능한 형태의 형상 데이터로 변환시킨다. 구축된 시스템의 CAD와 CAM간의 데이터 전송은 DXF(data exchange file)에 의한 방식을 시도하였다.

## 2.8 모델링모듈(modelling module)

모델링모듈에서는 NC 가공 데이터를 생성하기 위하여 데이터-변환모듈을 통하여 변환되어진 다이-레이아웃도면의 각 블랭크의 형상 데이터를 이용하여 3차원 모델링을 수행하고 공구경로를 지정한다.

## 2.9 포스트-프로세서모듈(post-processor module)

포스트-프로세서모듈은 모델링모듈에서 얻은 데이터를 이용하여, 사용할 공구 및 가공조건 등의 정보를 입력시켜, CNC가공 및 방전가공을 수행할 수 있는 NC 가공 데이터를 생성한다. 또한 이 모듈에서는 생성된 NC 가공 데이터를 컴퓨터의 하드디스크나 플로피디스크로 저장해서 DNC로의 연결을 용이하도록 하였다.

## 3. 시스템의 규칙 및 데이터베이스

본 시스템은 선단과 굽힘의 공정 및 금형설계와 금형가공에 대한 전문기술지식을 소성역학이론, 축적된 연구결과 및 현장전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 모순이 없는 사항에 대하여 규칙과 데이터베이스를 구축하였다. 또한, 경험적인 설계지침들과 노하우를 체계화하고 정량화시켜진 규칙은 의사결정에 기초한 "IF [conditions] THEN [actions]" 형태로 사용하였으며, 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하며 결과부의 출력 정보는 다음 조건부의 입력 정보가 된다. 또한 정량화된 데이터는 시스템 내의 추가적인 구축을 용이하게 할 수 있다.

## 4. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 개발된 선단 및 굽힘가공을 위한 공정 및 금형설계와 가공자동화 시스템에 모터코어용 스테이터와 로터제품과 선단 및 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 박판제품에 적용시켜 그 결과들을 고찰하고자 한다.

### 4.1 모터 코어용 스테이터와 로터의 경우

#### 1) 블랭크-레이아웃모듈에 적용

Fig. 2의 스테이터와 로터를 단일 및 이열 배열로 블랭킹을 할 때 도면을 시스템에 입력시켜 블랭크-레이아웃모듈에서 수행되어진 출력결과를 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 스테이터와 로터를 이열 배열로 블랭킹을 할 때에는 CASE 2와 같은 배열에서 UR의 값이 0.830으로써 최대가 되어짐을 알 수 있다.

#### 2) 다이-레이아웃모듈에 적용

Fig. 1과 같은 스테이터와 로터제품을 다이-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 이 모듈에서 수행되어 출력된 금형 부품들 중에서 가공의 자동화를 위한 금형 부품으로 다이블럭을 선택하여 Fig. 5에 각각 나타내었다.

#### 3) 데이터-변환모듈 및 모델링모듈에 적용

다이-레이아웃모듈에서 창출되어진 다이블럭의 블랭크를 가공하기 위하여, 데이터-변환모듈에서는 이들 블랭크의 CAD데이터를 개발된 시스템의 CAM부분으로 전송시켜서 Smart CAM 소프트웨어 환경에서 인

식 가능한 형태의 데이터로 변환시킨다. 그리고 모델링모듈에서는 NC 가공 데이터를 생성하기 위하여 변환된 다이블럭의 블랭크에 대한 데이터를 이용하여 3차원 모델링을 수행하여 공구경로를 지정하는데 이를 Fig. 6에 나타내었다.

4) 포스트-프로세스모듈에 적용  
포스트-프로세스모듈에서는 모델링모듈에서 생성된 다이블럭의 블랭크에 대하여 CNC가공에 필요한 공구 및 가공조건과 금형 재료에 관한 데이터를 입력시켜, 입력된 조건으로 CNC가공을 할 수 있는 NC 가공 데이터를 자동적으로 생성한다. 다이블럭의 CNC가공을 위한 입력사항을 Fig. 7에 나타내었고, 포스트-프로세스모듈에서 수행되어 생성된 NC 가공 데이터를 Fig. 8에 나타내었다.

#### 4.2 전단 및 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 박판제품의 경우

1) 플레이트패턴-레이아웃모듈에 적용  
Fig. 9와 같은 굽힘반경 2mm, 굽힘각도 90°, 두께 0.5mm인 실리콘 스틸(Silicon steel)의 불규칙형상 제품을 플레이트패턴-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 입력된 값으로 굽힘여유량을 계산하고 형상처리모듈의 수행결과 얻은 수치리스트를 이용하여 창출된 플레이트패턴-레이아웃을 Fig. 10에 나타내었다. 4개의 굽힘 선들은 증립축에서 굽힘호의 중간지점에 위치하고, 굽힘 방향은 창출되어진 플레이트패턴-레이아웃도면의 위쪽을 +방향으로 아래쪽을 -방향으로 하여 인식되었다.

2) 가공가능성검사모듈에 적용  
Fig. 9와 같은 0.5mm의 두께를 가진 플레이트패턴-레이아웃도면을 가공가능성 검사모듈에 적용시킬 때, 선과 선, 선과 호, 선과 원 사이의 가공가능한 내부형상의 최소거리 및 굽힘선과 내부형상 사이의 최소거리를 계산하여 전단 및 굽힘가공을 위한 가공가능한 영역을 나타내었다. 그러나, 이 경우에는 내부형상 사이의 최소거리와 피어싱될 내부구멍은 가공가능한 영역에 있는 반면에 굽힘선과 내부형상 사이의 최소거리는 가공가능한 영역에 있지 않으므로 가공가능한 영역으로 재설계를 수행하여 이를 Fig. 11에 나타내었다.

3) 스트립-레이아웃모듈에 적용  
Fig. 9와 같은 전단 및 굽힘을 갖는 불규칙형상 제품을 스트립-레이아웃모듈에 적용시킬 때, 이 모듈에서 수행되어 출력된 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 전단 및 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 박판제품에 관해 공정 및 금형설계와 가공자동화를 수행할 수 있는 시스템을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 입력 및 형상처리모듈은 각 모듈을 구성하고 있는 프로그램을 수행시키기 위하여, 도면의 형상을 자동 인식할 수 있다.
2. 플레이트패턴-레이아웃 및 가공가능성검사 모듈에서는 전단 및 굽힘공정을 갖는 불규칙형상 제품에 대하여 펼친 형태의 도면을 창출시켜 제품의 가공가능성을 검사할 수 있다.
3. 스트립-레이아웃모듈에서는 최대의 재료이용률을 가지는 블랭크-레이아웃 도면에 대하여 스트립-레이아웃 도면을 창출시킬 수 있다.
4. 다이-레이아웃모듈에서는 스트립-레이아웃도면에

다른 금형 부품 도면을 자동으로 창출시킬 수 있다.  
5. 포스트-프로세스모듈에서는 다이-레이아웃모듈의 수행결과 창출된 금형 부품들의 가공을 위하여, 데이터-변환 및 모델링모듈을 통하여 NC 가공 데이터를 자동적으로 생성할 수 있다.

#### 참고 문헌

1. G. Schaffer, "Computer design of progressive dies", Am. Mach. Vol. 22, pp. 73-75, 1971.
2. B. Fogg and Jaimeson, "The influencing factors in optimizing press tool die layouts and a solution using computer aids", CIRP Annals, Vol. 24, pp. 429-434, 1975.
3. Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system", Bull. Jpn. Soc. Prec. eng., Vol. 15, pp. 219-224, 1981.
4. S. Nakahara, T. Kojima, S. Tamura, A. Funimo, S. Choichiro and T. Mukumuru, "Computer progressive die design", Proceedings of 19th MTRD conference, pp. 171-176, 1978.
5. 최재찬, 김병민, 김 철, 이승민, "스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 공정설계 및 금형설계 시스템", 한국정밀공학회지, 제13권, 제8호, pp. 40-51, 1996.
6. 최재찬, 김병민, 김 철, 김재훈, "스테이터 와 로터 및 불규칙한 박판 제품의 블랭킹에 관한 공정설계 시스템", 한국정밀공학회지, 제13권, 제 9호, pp. 46-53, 1996.
7. 최재찬, 김병민, 조해용, 김 철, "스테이터 및 로터의 블랭킹 및 피어싱에 관한 자동화된 금형설계 시스템", 한국정밀공학회지, 제14권, 제 5호, pp. 22-33, 1997.
8. 최재찬, 김병민, 김 철, 김재훈, 김호관, "불규칙한 형상의 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 공정설계 시스템(II)", 한국정밀공학회지, 제 14권, 제7호, pp. 39-48, 1997.
9. 최재찬, 김병민, 김 철, 김호관, "불규칙형상 박판제품의 블랭킹용 네스팅 시스템", 한국정밀공학회지, 제14권, 제11호, pp. 171-179, 1997.
10. 최재찬, 김병민, 김 철, 윤지훈, "불규칙형상의 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 통합적 CAD 시스템", 한국정밀공학회지, 제15권, 제2 호, pp. 124-133, 1998.
11. 최재찬, 김병민, 김 철, "굽힘공정을 갖는 불규칙형상 박판제품의 블랭킹 및 피어싱용 공정설계 시스템", 한국정밀공학회지, 제15권, 제3호, pp. 18-23, 1998.
12. Y.K.D.V. Prasad and S. Somasundaram, "CADDs : An automated die design system for sheet-metal blanking", Computing & control engineering journaling, pp. 185-191, 1992.
13. K. Shirai and H. Murakami, "A compact and practical CAD/CAM system for progressive dies", Bull. Jpn. Soc. of Prec. Eng., Vol. 23, No. 1, pp. 25-30, 1989.
14. F. Strasser, "The secret of successful press tool design", Tooling, February, 1976.
15. D.F. Eary, E.A. Reed, "Technique of pressworking sheet metal", Prentice-hall, Inc., 1974.
16. F.W. Wilson, P. H. Harvey, "die design handbook", McGraw-hill company, 1963.
17. K. Lange, "Handbook of metal forming", McGraw-Hill book company, pp. 241-26, 1970.

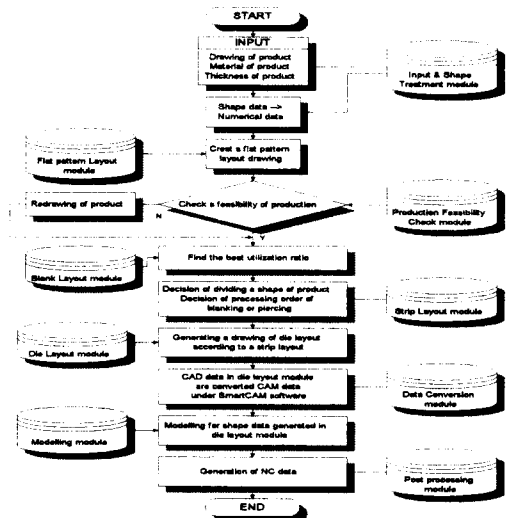


Fig. 1 Configuration of the integrated system

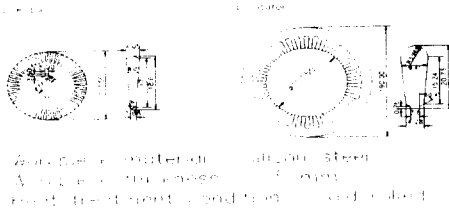
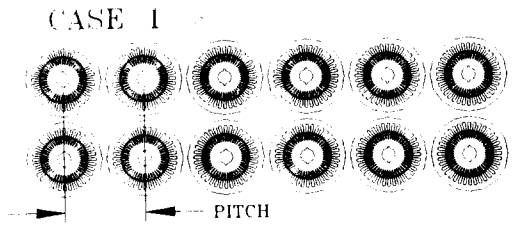


Fig. 2 Drawing of stator and rotor

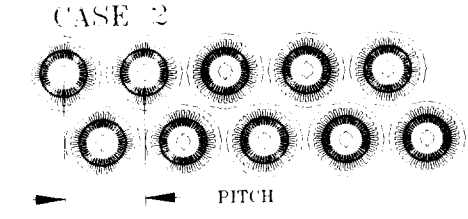


SLITTING WIDTH = 191.0 PITCH = 191.5  
 UTILIZATION RATIO = 0.775

Fig. 3 Single row layout of stator and rotor with the best utilization ratio



THICKNESS = 0.5 PITCH = 191.5  
 SLITTING WIDTH = 382.500  
 UTILIZATION RATIO = 0.775



THICKNESS = 0.5 PITCH = 191.5  
 SLITTING WIDTH = 358.844  
 UTILIZATION RATIO = 0.830

Fig. 4 Multiple row layout of stator and rotor with the best utilization ratio

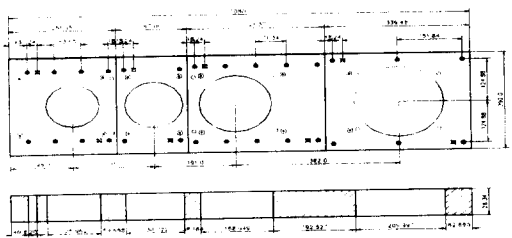


Fig. 5 Die block drawing generated in die-layout module

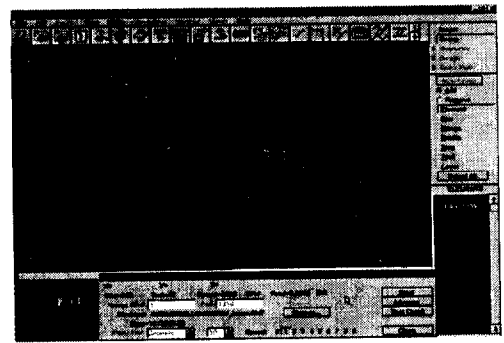


Fig. 6 Modelling under CAM system for the die block generated in die-layout module

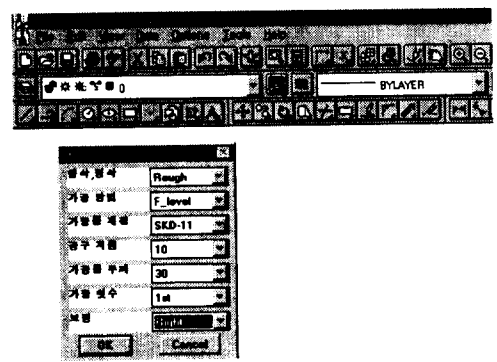


Fig. 7 Input data for CNC working of the die block

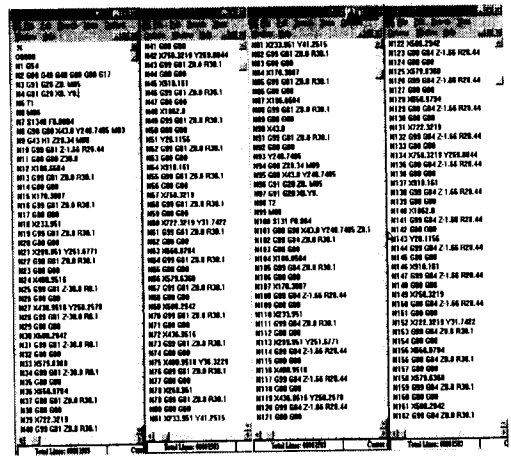
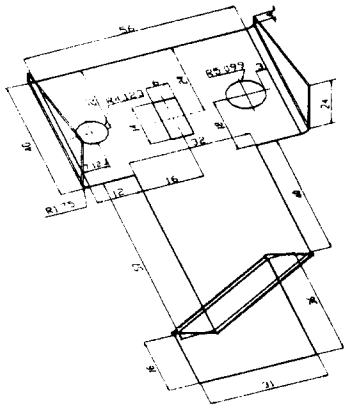
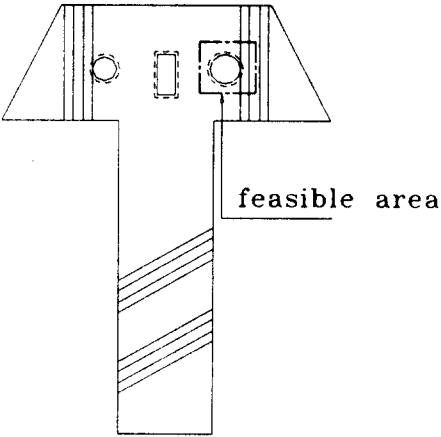


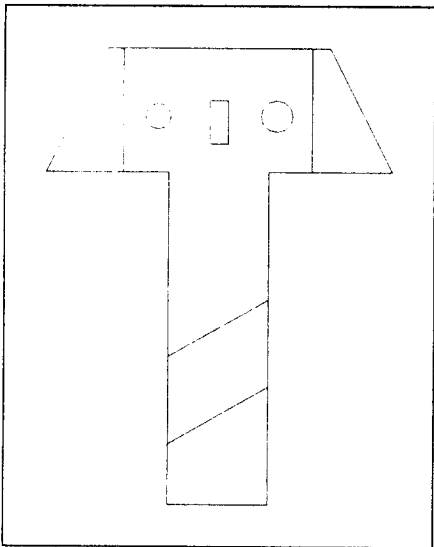
Fig. 8 NC data generated in post-processor module for the die block



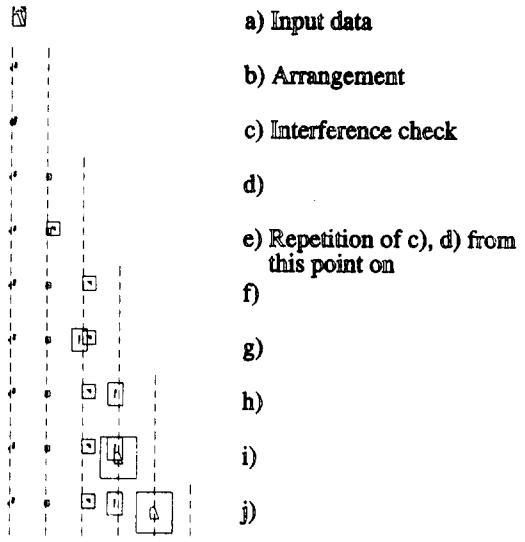
**Fig. 9 Drawing of a sample blank with piercing and bending processes**



**Fig. 11 Redesigned drawing satisfied with bending production feasibility area**



**Fig. 10 Flat pattern drawing carried out flat pattern-layout module**



**Fig. 12 Automatic strip-layout for a sample blank with bending and piercing operation**