

스테이터 및 로터의 블랭킹에 관한 자동화된 공정설계 및 금형설계 시스템

최재찬*, 김병민*, 김철**, 이승민**

*부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

**부산대학교 대학원 기계설계공학과

ABSTRACT

This paper describes some research works of computer-aided design of blanking & piercing progressive die for stator and rotor parts by the press. An approach to the system is based on knowledge based rules. The developed system is composed of five main modules such as input & graphic interface, blanking feasibility check, strip layout, die layout and output module. Using this system, design parameters (geometric shapes, die and punch dimensions and dimensions of tool elements) are determined and output is generated in graphic form. Knowledges for tool design are extracted from the plasticity theories, handbooks, relevant references and empirical know-hows of experts in blanking companies. The developed system provides powerful capabilities for process planning and die design of stator and rotor parts.

1. 서 론

각종 기계 및 부품 산업에서 중추적인 역할을 차지하고 있는 금형은 전형적인 단품종 소량 생산 품목으로 그 제작의 다양성은 날로 증가 하고 있는 실정이다. 여러 종류의 금형 중에서 열간 및 냉간 압연가공으로 생산되는 판재인 블랭크에 영구변형을 주어 목적하는 형상을 얻는 프레스 가공에 사용되는 프레스 금형 및 프레스 금형에 의한 가공은 자동차, 전기, 전자를 비롯한 많은 산업 분야에 있어서 여러가지 부품의 양산 가공에 이용되고 있으며, 산업발전을 뒷받침하는 기간가공의 하나로써 중요한 역할을 담당해 왔다.

또한 최근 공업 제품이 중후장대에서 경박단소화로 전환됨에 따라 프레스 금형 및 가공의 중요성은 더욱 증대되고 있으며, 그와 함께 공업제품에 대한 고도화, 다양화, 제품 life cycle의 단축화로 인해 프레스 가공에 대한 요구도 한층 업격해지고 있다. 이러한 요구와 생산성을 향상시키기 위하여 프레스의 고속화와 자동화가 추진되고 있으며 금형의 구조, 정밀도, 재질 나아가서는 금형의 설계에 컴퓨터 기술을 도입 해야 할 필요성이 크게 대두 되고 있으며 실제로 금형설계는 금속성형가공의 CAD/CAM 시스템 구성에 가장 중요한 부분을 차지하고 있다. 또한 금형의 고정도화 및 납기 단축 등에 능동적으로 대처하기 위해, 금형의 설계 및 제작에 최근 급속히 발전하고 있는 컴퓨터를 이용해야 하는 필요성이 크게 증가하고 있다. 따라서 최근에 프레스 금형 설계의 자동화를 위한 CAD 소프트웨어의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1-6].

이러한 추세에 따라 1970년에 들어 프레스 금형용 자동설계 시스템의 연구가 활발하게 추진되어 왔다. 박판 제조에 있어서 CAD는 Shaffer^[1]가 1971년에 Progressive die design by computer (PDDC) 시스템을 개발했을 때 시작되었고 나중에 Fogg와 Jameson^[2]은 다이 설계에 영향을 미치는 여러가지 요소들을 고려한 PDDC 시스템을 개선함으로서 그 요소들이 어떻게 연관 되어지는지를 연구하였으며 Shibata와 Kunitomo^[3]는 블랭크와 디레이아웃의 그래픽 디스플레이를 목적으로 하는 CAD/CAM 시스템을 개발하였다. 또한 Nakahara 등^[4]은 프로그래시브 다이 설계를 위한 디자인 시스템을 도입하였고 Shirai 와 Murakami^[5]는 프로그래시브 다이를 위한 CAD/CAM 시스템을 개발했다.

본 연구에서는 고효율 전동기 개발에 핵심적인 스테이터 및 로터의 제작을 위한 프로그래시브 금형의 설계와 실행을 위한 CAD 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 스트립레이아웃과 디레이아웃, 금형요소의 설계를 자동으로 수행하여 출력시키므로서, 공정설계의 자동화에 따른 공정에 필요한 정보를 설계자에게 미리 제공할 수 있다. 개발된 시스템은 AutoCAD 환경 하에서 실행되며 다른 소프트웨어의 지원 없이도 실행이 가능하다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 금형설계 시스템은 입력 및 형상처리 모듈, 가공가능성 검사 모듈, 스트립레이아웃 모듈, 디레이아웃 모듈, 출력 모듈로 이루어져며 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타낸다.

2.1 입력 및 형상처리 모듈

1) 입력 모듈

소재제원으로는 소재의 재료명, 폭, 열처리조건, 그리고 두께에 대한 정보가 요구되어지며 이 모듈에서는 소재의 재료명과 열처리 조건을 이용하여 그 소재의 기계적성질에 관한 정보를 데이터베이스로 부터 자동적으로 읽어들인다.

2) 형상처리 모듈

이 모듈에서 처리되는 가장 중여한 내용은 제품의 형상에 관한 것으로 제품의 형상을 사용자가 직접 AutoCAD 환경 하에서 도면화하거나 혹은 도면화된 파일을 스크린상에 적재(LOAD)함으로서 입력될 수 있다. 입력된 형상을 프로그램에서 취급하기 위하여 형상 데이터를 수치형태로 변환하여 저장한다. 저장된 정보는 가공가능성을 검사하기 위하여 이용된다.

2.2 가공가능성 검사 모듈^[7,8]

이 모듈은 형상처리 모듈에서 얻은 블랭크에 대한 정보를 가지고 소재 블랭크의 가공성을 조사하는 것으로서 블랭크 유파이 블랭킹이나 피어싱으로 제품을 만드는 것이 어렵거나 불가능하게 되는 기하학적 영역을 확인함으로서 제품생산에 문제점이 없는 배치관계를 결정하는 모듈을 의미한다.

규칙1) 파이롯팅 구멍이 존재하면 그 직경은 소재 두께의 3 배이상은 되어야한다.

규칙2) 제품형상간의 여유폭은 소재의 두께에 따라서 결정된다.

규칙3) 형상사이의 최소거리는 아래의 Table 1에서 제시한 값보다는 커야한다.

규칙4) 피어싱되는 구멍은 형상이 사각형이나 원형이면, 피어싱의 가공한계 치수는 형상, 두께, 물성치에 의존 한다.

규칙5) Arc반경은 0.5t보다는 커야한다.

2.3 스트립 레이아웃 모듈^[8~10]

스트립레이아웃 모듈은 입력모듈에서의 제품형상과 가공가능성 검사 모듈로 부터 가공가능성이 확인된다면 제품의 공정순서를 결정하는 모듈이다.

규칙6) 파일롯트 구멍은 처음공정에서 피어싱한다.

규칙7) 제품에 내부형상이 존재하면 내부형상을 먼저 가공한다.

규칙8) 2개 이상의 내부형상이 동시에 피어싱된다면 피어싱 다이의 최소 벽두께는 Table 2의 값보다는 커야한다.

규칙9) 다이의 최소 벽두께가 Table 2의 값보다 작으면 다음 공정으로 분활한다.

규칙10) 가공가능성 검사 모듈에서 결정된 제품형상간의 여유폭을 이용하여 블랭크의 초기이송피치는 다음식에 따라 결정된다.

$$L_{pitch} = D_{bia} + BWI$$

규칙11) 초기 스트립레이아웃 도면의 각 단계의 가장자리에서 이웃하는 단계의 가장자리까지의 최소거리를 계산하여 최소거리가 한계거리($l_{criteria}$)보다 작으면 아이들공정(idle station)을 그 공정의 중간에 부여 한다.

규칙12) 각 단계에서 블랭킹 공정중 발생하는 추력에 의한 다이 면압을 견딜 수 있는 다이의 최대외경($d_{o,n}$)을 결정한 후 아이들공정의 삽입여부에 대한 한계 거리는

$$l_{criteria} = \frac{(d_{o,n} + d_{o,n+1})}{2} - \frac{(d_{i,n} + d_{i,n+1})}{2}$$

로 결정된다.

규칙13) 다이블럭의 치수가 결정되고, 아이들공정이 필요하지 않고, 다이블럭의 크기가 다음의 조건식을 만족하면 계산된 이송피치를 그대로 적용하여 스트립레이아웃을 수행한다.

$$4 \times L_{pitch} + 6H_{dblock} \leq L1_{dblock}$$

$$D_{bia} + 6H_{dblock} \leq L2_{dblock}$$

규칙14) 아이들공정이 필요할 경우 아이들공정을 부여하고 입력된 다이블럭의 치수가 다음의 조건식을 만족하는지 검토하여, 조건을 만족하지 않으면 피치를 줄여 아래의 식을 만족하는 새로운 이송피치를 결정한다.

$$5 \times L_{pitch} + 6H_{dblock} \leq L1_{dblock}$$

$$D_{bia} + 6H_{dblock} \leq L2_{dblock}$$

2.4 다이 레이아웃 모듈^[8~11]

다이레이아웃 모듈은 입력 및 형상처리 모듈에서 입력된 제품형상과 그에 대한 수치 데이터 및 가공가능성 검사 모듈에서 얻어지는 가공성, 스트립레이아웃 모듈에서 얻어지는 플레이트상의 공구배치 등의 정보들을 이용하여 다이블럭, 펀치, 펀치홀더 및 스트립퍼 등의 금형구조와 부품을 데이터베이스에서 선정한다.

(가) 다이블럭에 대한 설계규칙

규칙15) 다이블럭의 전장은 프레스의 용량에 따라 결정된다.

규칙16) 다이블럭의 두께는 사용자의 입력사항으로 하며, 만약 다이블럭의 두께가 입력되지 않으면 소재의 두께에 따라 결정된다.

규칙17) 다이블럭의 두께는 주로 블랭크의 크기, 판재 두께, 소재의 전단 강도와 다이재질의 굽힘강도에 의존한다.

규칙18) 블랭크가 원형이면 다음의 식을 만족해야한다.

$$H_{dblock}^2 \geq \frac{2.5F_{blank}}{\sigma_{ai}} \left(1 - \frac{D_{blank}}{1.5D_{dplate}} \right)$$

규칙19) 블랭크의 형상이 원형이 아니면 아래의 식을 적용해야 한다.

$$H_{\text{block}} \geq k F_{\text{blank}}^{\frac{1}{3}}$$

규칙20) 전단날과 다이블럭의 바깥모서리 사이의 최소거리는 단순 다이에서는 다이블럭두께의 1.5~2.0배이며 복잡한 다이에서는 2.0~3.0배이다.

규칙21) 다이블럭의 형상은 추출방법이 중력낙하형식(Drop Through Type)이면 다이랜드부의 여유각은 두께에 따라 0.1'~45' 사이의 값을 취한다.

규칙22) 추출방법이 녹아웃형식(Knockout Type)이면 녹아웃을 설치한다.

규칙23) 코너에 있는 구멍은 구멍의 중심선과 다이블럭의 모서리 사이의 거리가 적어도 구멍직경의 1.5배가 되도록 위치해야한다.

규칙24) 프레스의 하중 중심점은 전단력의 하중 중심점에 일치되어야한다.

규칙25) 전단력의 중심이 프레스의 중심에 대하여 30%이내의 편심을 갖는다면 금형에 있어 문제는 되지 않는다.

(나) 펀치에 대한 설계규칙

규칙26) 피어싱 펀치의 형상은 제품의 내부형상에 의해 결정된다.

규칙27) 블랭킹 펀치의 형상은 제품의 외부형상에서 틈새를 뺀 치수로 결정된다.

규칙28) 펀치의 길이는 스트립퍼 플레이트의 두께, 펀치 호울더의 두께, 펀치의 진입량, 재연삭량 등을 더한 값보다 커야한다.

규칙29) 펀치의 길이는 좌굴에 의한 한계값보다 작아야한다.

규칙30) 펀치에 작용하는 압축응력은 펀치의 허용 압축응력 보다 작아야 한다.

(다) 스트립퍼에 대한 설계 규칙

규칙31) 스트립퍼 플레이트의 전장은 다이블럭의 전장과 같아 한다.

규칙32) 스트립퍼 플레이트가 고정식이면 형상과 치수는 아래와 같다.

$$H_{\text{strip}} = t + 2.4\text{mm}, \quad A_{\text{strip}} = (1/7) \times t + 0.5$$

$$T_{\text{strip}} = (W/30) + 2t, \quad h_{\text{strip}} = H + T$$

$$S_{\text{strip}} = 3\sim9\text{ mm}$$

규칙33) 스트립퍼가 스프링식이면 스트립핑력은 아래의 식으로 결정한다.

$$F_{\text{strip}} = F_{\text{blank}} \times 1.1 \sim 1.2 S_{\text{strip}}$$

규칙34) 스트립퍼 플레이트가 스프링식이면 스프링의 치수는 KS규격에서 선정한다.

(라) 틈새의 결정규칙

규칙35) 틈새는 소재의 두께와 인장강도를 고려하여 결정된다.

3. 시스템의 적용 및 결과

본 연구에서 개발한 금형설계 시스템을 112 프레임 4극의 Motor Core금형에 대하여 적용하여 그 출력 결과를 고찰하고자 한다.

본 시스템을 작동하기 위해서는 입력 사항으로서 제품의 형상, 두께, 재질, 열처리 조건을 입력하게 된다. Fig. 2는 Motor의 제작에 사용되고 있는 실제 형상이며, 입력사항을 나타내고 있다. 도변화된 제품형상에 대하여 제품의 성형가능성을 검증하기 위하여 다음의 사항을 검사한다.

1) Fig. 2의 도면에 대하여 계산된 형상사이의 최소거리와 형상사이의 기준거리는 Table 3와 같다.

2) 피어싱되는 구멍에 대하여 최소 지름과 최소 슬리팅 폭에 대한 값은 Table 4와 같다.

3) 최소 Arc반경에 대한 값과 그 기준치는 Table 5와 같다. 위의 검증사항을 모두 만족하므로 입력된 제품형상은 블랭킹이나 피어싱 공정에 의하여 성형이 가능하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 제품의 입력도면에 대한 초기 스트립레이아웃의 결과이다. 각 공정에서 최소거리가 15.54mm로서 계산된 한계거리 27.2483mm보다 작으므로 이 최소거리 사이에 아이들 공정이 삽입되어야 한다. 초기 스트립 레이아웃에 대하여 계산된 피치는 191mm이다.

Fig. 4는 아이들 공정의 삽입시 출력된 스트립레이아웃의 결과이다. 출력된 결과에서 알 수 있듯이 아이들 공정이 삽입되므로서 각 공정간의 거리가 한계거리는 각각 65.77mm, 43.79mm, 190.54mm로 한계거리인 27.2483mm보다 더 큼을 알 수 있다. 또한 아이들공정의 삽입으로 변경된 피치는 183mm이다.

Fig. 4의 스트립레이아웃의 결과에 대한 각 공정에서의 소요된 하중과 압력중심의 계산 결과는 Table 6이다. 전체 소요하중이 프레스의 용량(200 ton)보다 작음을 알 수 있다.

Fig. 5은 출력된 스트립레이아웃에 의한 금형구조와 재료표를 보여주고 있다. Fig. 5는 금형구조에 대한 각 요소, 재질, 갯수 등의 출력을 나타내고 있다.

Fig. 6은 다이블럭의 요소설계의 결과이다. 다이블럭의 강도를 검증하기 위하여, 다이블럭의 두께는 규칙 18)을 적용하였을 때 9.065mm 보다 커야하고 규칙 19)를 적용하였을 때 21.04mm보다 커야한다. 설계치수는 25.00mm로 두 치수보다

크다.

Fig. 7은 각 편치요소의 설계규칙에 의하여 설계된 각 공정에서의 편치에 대한 설계결과이다.

Fig. 8은 편치 홀더의 형상과 치수이다.

Fig. 9는 스트립퍼의 설계된 형성과 치수이다.

4. 결 론

본 연구에서는 프레스 가공 중에 가장 많이 쓰이고 있는 프로그래시브 다이에 의한 블랭킹 및 피어싱 가공에 대한 금형설계 시스템을 지식베이스에 기초를 두어 개발함으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 프로그래시브 다이의 금형설계에 필요한 기술과 경험을 규칙 형태로 체계화함으로서 금형설계 방법을 정식화하였다.
- 2) 본 금형설계 시스템은 AutoCAD환경하에서 도면화된 제품 형상에 대하여 제품의 가공가능성을 검사하여 블랭크 윤곽이 가공 불가능할 때 시스템은 가공불가능영역을 확인하고 요건에 맞는 값을 제시하여 실제 생산에서 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지할 수 있다.
- 3) 본 금형설계 시스템은 스트립레이아웃의 결과와 제품의 특성치로 부터 프레스에 적합한 금형요소의 설계가 순차적으로 수행되도록 구성되어 있으며, 경험이 적은 설계자도 쉽게 적용할 수 있도록 대화식으로 구성되어 있다.

5. 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. Fumio, S. Choichiro and T. Mukumuru, "Computer progressive die design", Proceedings of 19th MTDR conference, pp. 171~176, 1978
- [5] K. Shirai and H. Murakami, "A compact and practical CAD/CAM system for progressive dies", Bull. Jpn. soc. of Prec. Engg., Vol. 23, No. 1, pp. 25~30, 1989.
- [6] Y.K.D.V. Prasad and S. Somasundaram, "CADD : An automated die design system for sheet-metal blanking", Computing & control engineering journal, pp. 185~191, 1992.
- [7] Constantin Iliescu, "Cold-Pressing Technology", Elsevier, 1990
- [8] D.F. Eary, E.A. Reed, "Technique of pressworking sheet metal", Prentice-Hall, Inc., 1974
- [9] F.W. Wilson, P. H. Harvey, "Die design handbook", McGraw-Hill company, 1963
- [10] K. Lange, "Handbook of metal forming", McGraw-Hill book company, pp. 24.1~26.1, 1970
- [11] F. Strasser, "The secret of successful press tool design", Tooling, Feb. pp. 46~51, 1976.

Table 1 Limits distances between the edges of two holes or between the edge of a hole and hole of blanked piece

Shape	Criteria
Line - Circle	Minimum Distance \geq Thickness
Circle-Circle	Minimum Distance $\geq 0.8 \times$ Thickness
Circle - Arc	Minimum Distance $\geq 0.9 \times$ Thickness
Line - Line	Minimum Distance $\geq (1.5 \sim 2.0) \times$ Thickness
Line - Arc	Minimum Distance $\geq 0.9 \times$ Thickness
Arc - Arc	Minimum Distance $\geq 0.8 \times$ Thickness

Table 2 Minimum die wall thickness

Workpiece Thickness [mm]	Tensile Strength [kg/mm ²]				
	~40	40~50	50~61	61~70	70~
≤ 0.4	1.28	1.44	1.6	1.76	1.92
≤ 0.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
≤ 0.8	2.0	2.25	2.5	2.75	3.0
≤ 1.0	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
≤ 1.2	2.8	3.15	3.5	3.85	4.2
≤ 1.5	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8
≤ 2.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
≤ 2.5	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
≤ 3.0	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4
≤ 3.5	6.4	7.2	8.0	8.8	9.6
≤ 4.0	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8
≤ 5.0	8.0	9.0	10.0	11	12.0

Table 3 Calculated results of limits distances between the edges of two holes or between the edge of a hole and hole of blanked piece

Shape	Limits Distance[mm]	Criteria[mm]
Line - Circle	1.12258	0.5
Circle - Circle	246.250	0.4
Circle - Arc	14.5354	0.45
Line - Line	3.89345	0.75
Line - Arc	3.89177	0.45
Arc - Arc	3.88936	0.4

Table 4 Calculated results of minimum dimensions of holes processed by piercing

shape of hole	minimum dimension of the hole	steel minimum size[mm]
circular	117.5	0.6
rectangular	1.68	0.55

Table 5 Calculated results of minimum arc radius

Minimum Arc Radius[mm]	Cirteria [mm]
0.4	0.25

Table 6 Calculated results of required load and sheared length for each process and center of pressure

	Sheared Length [mm]	Required Load [ton]	Face Pressure [kg/mm ²]
1st Stage	2009.03	38.815	38.66
2nd Stage	369.14	7.135	38.66
3rd Stage	2063.24	39.882	38.66
4th Stage	Idle	Idle	Idle
5th Stage	396.90	11.538	38.66
Total	5011.31	97.370	38.66
Center of Pressure	115.94mm from Stator Slot Center Point		

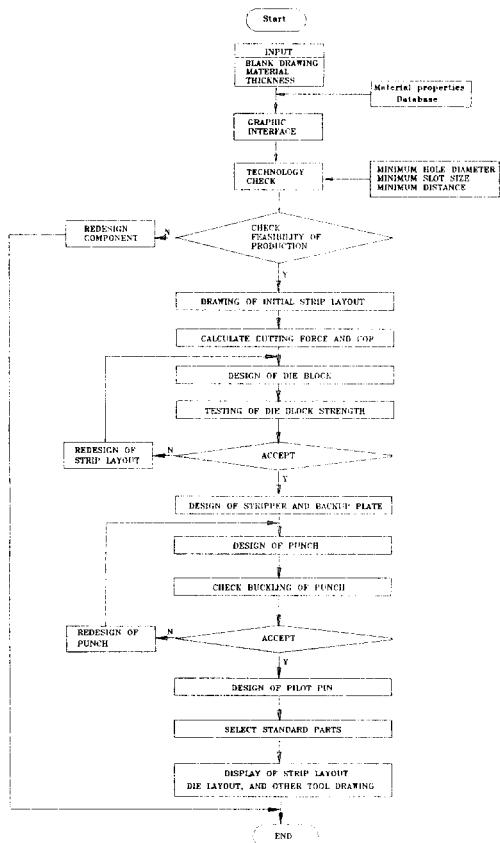
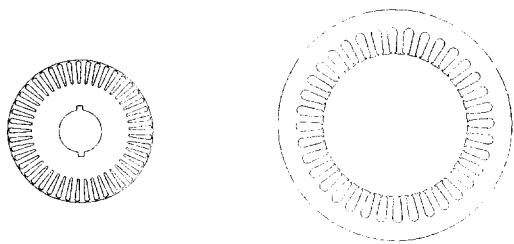


Fig. 1 Flow Chart for design



Workpiece material : S20C
Workpiece thickness : 0.5 mm
Heat treatment condition : cold rolled

Fig. 2 Example of inputed drawing

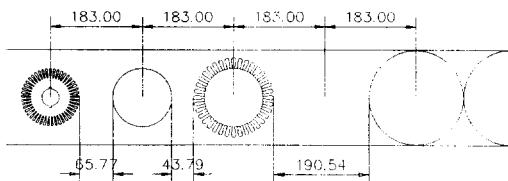


Fig. 3 Drawing of initial strip layout drawing

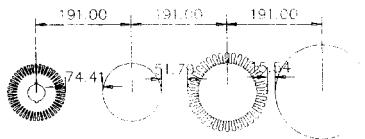


Fig. 4 Drawing of final strip layout drawing

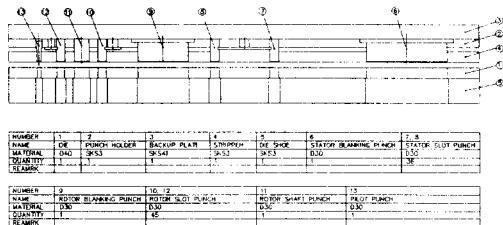


Fig. 5 Structure of progressive die and bill-of-material

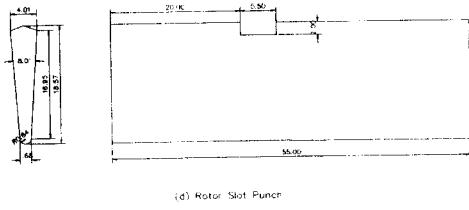
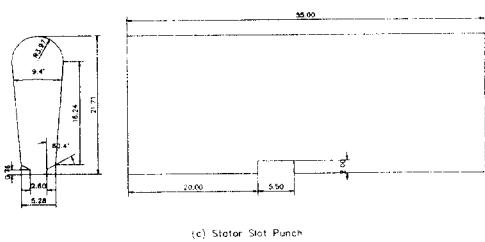
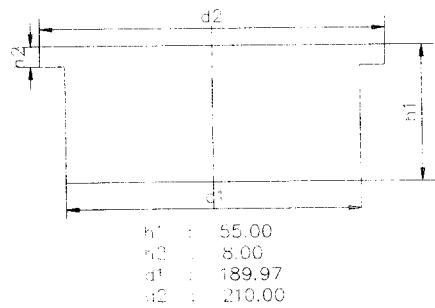
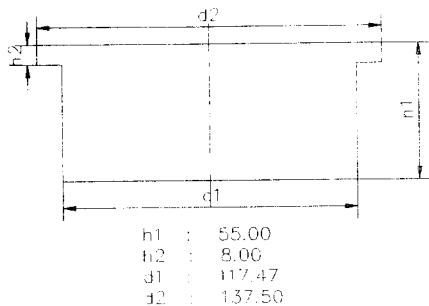
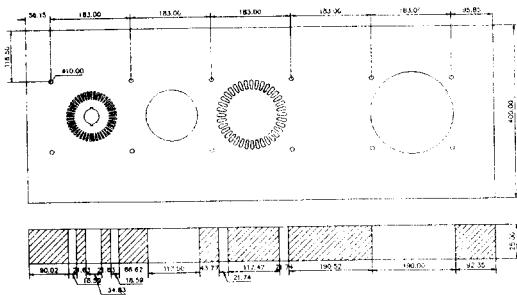


Fig. 7 Punch drawing

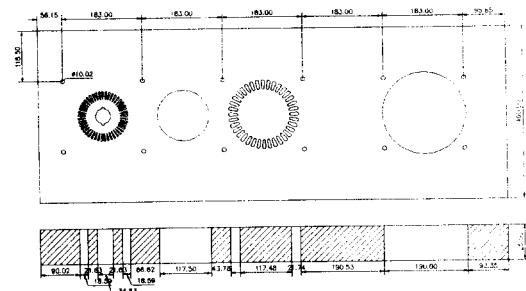


Fig. 8 Punch holder plate drawing

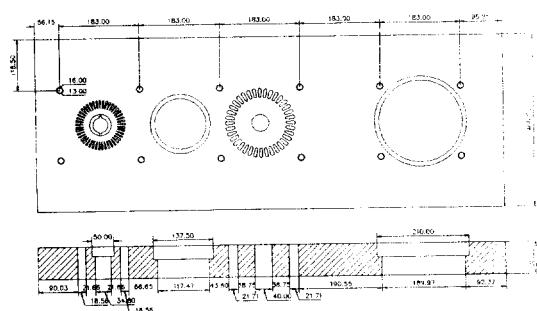


Fig. 9 Stripper plate drawing