

알루미늄 합금 형재의 열간압출 금형설계 시스템

조해용*, 김관우**, 최재찬***

A Design System of Dies for Hot Extrusion of Structural Shapes from Aluminum Alloys

Hae Yong Cho*, Kwan Woo Kim**, Jae Chan Choi***

ABSTRACT

A design system of dies for hot extrusion of structural shapes such as Z' s, L' s, T' s, U' s and H' s from aluminum alloys was developed in this study. The developed design system of dies is based of established die design rule system. The design rules for die design are obtained from the handbooks, plasticity theories and relevant references. The environment of the system is AutoCAD and AutoLISP, the graphic programming language was used for the configuration of the system. This system includes five major modules such as section shape design module, die opening number module, die opening layout module, die correction module and die bearing design module that are used to determine design variables. This system would be used to design of dies for hot extrusion from aluminum alloys and widely used in manufacturing course.

Key Words : Direct hot extrusion(직접 열간 압출), Automated design(자동설계), AutoLISP(오토리쉬), Opening number(압출구 개수)

1. 서론

압출 제품의 생산성과 품질은 금형기술에 큰 영향을 받으므로 적절하게 금형을 설계, 제작하는 것이 매우 중요하다.

열간압출의 공정 및 금형설계 자동화 시스템은 1974년에 Watt¹⁾가 개발한 비철금속 압출에서의 "BNF"를 시점으로 그 후에 Altan²⁾은 알루미늄, 티타늄, 스틸의 압출에 있어서 금형을 설계하고 제작할 수 있는 "SHAPE"를 개발하였고, Billhardt³⁾과 함께 알루미늄 형재의 무윤할 압출을 위한 "ALEXTR"과 NC코드를 생성하는 "EXTCAM"을 개

발하였다. Choi⁴⁾은 이론과 현장경험을 접목시킨 설계규칙을 토대로 Basic언어를 이용하여 알루미늄 합금에 대한 금형설계 자동화 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 현장의 금형설계에 보편적으로 사용되는 AutoCAD에서 구동되는 금형설계 자동화 시스템을 개발하였고, 이 시스템은 다양한 형태의 압출구를 가지는 금형설계로의 적용이 보다 용이하며, CAD화면상의 대화상자를 통하여 보다 간단한 설계절차를 거침으로써 비 숙련자도 설계에 필요한 데이터만 입력시키면, 그에 따른 결과가 도면으로 출력됨으로 쉽게 금형설계를 할 수 있고, 금형설계 과정의 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

*** 2001년 9월 10일 접수

* 충북대학교 기계공학부

** 충북대학교 대학원 정밀기계공학과

*** 부산대학교 기계공학부

2. 설계변수 계산규칙

규칙 7) 금형 압출구 계수는 압출비의 영향을 받으며, 압출성 판단의 기준이 되고, 압출비는 다음 식으로 계산된다.

$$\text{압출비}(R) = \frac{A}{A_f}$$

규칙 8) 압출하중 계산의 경험식은 다음과 같다.

$$P = K_f \left(\ln R + \frac{4\mu L}{D_c} \right)$$

규칙 10) 재료생산률은 다음 식으로 계산된다.

$$Y = \frac{W_b - W_s}{W_b} \times 100(\%)$$

규칙 15) 빌렛의 표면이 압출 제품의 내부로 유동하는 것을 막기 위해서 금형 압출구와 컨테이너 벽 사이에 최소 틈새를 둔다.

$$0.8D_c \leq D_u, \max \leq 0.85D_c$$

규칙 24) 최소 베어링은 두께가 가장 얇은 부분이나 중심에서 가장 멀리 떨어진 곳을 선택하며, 최소 베어링 부위의 길이는 경험적으로 다음과 같다.

- (1) 단면두께 1.8mm 이하 : 1.2× 단면두께
- (2) 단면두께 1.8~5mm : 1.1× 단면두께
- (3) 단면두께 5mm 이상 : 1.0× 단면두께

규칙 26) 금형압출구의 개수가 여러 개인 경우는 금형의 중심에서 압출구까지 최대외접원을 그리고, 금형의 중심 방향으로 5mm간격으로 동심원을 그려나가며, 이에 포함되는 형상부위의 길이 만큼 최소 베어링 길이에 더해나간다.

3. 프로그램의 구성 및 작동원리

AutoLISP 언어를 이용한 금형 설계프로그램은 정립된 설계규칙들에 기초한다. 금형 설계프로그램은 기본형상들("L", "H", "Z", "T", "U")에 대해서 크게 5개의 프로그램으로 구성되어 있고, 프로그램의 구성 및 내용, 순서는 Fig. 1의 flow-chart에 도식적으로 설명되어 있다. 설계 모듈들의 진행과정에서 금형설계에 필요한 변수(형상계수, 압출비, 압출하중, 재료생산률 등)가 계산되며, 계산된 정보는 바로 화면상에 정리된 도면과 데이터로 출력됨으로써 프로그램 사용자는 빠르고, 편리하게 설계변수를 확인하며, 합리적인 설계절차를 통하여 압출 금형을 설계할 수 있다.

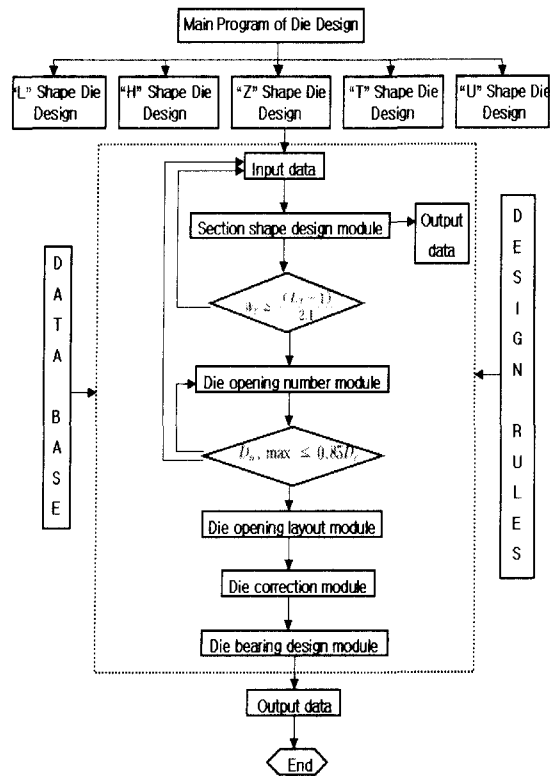


Fig. 1 Flow chat of the CAD program

3.1 주 프로그램

주 프로그램에서는 Fig. 2와 같이 이미지버튼을 이용하여 사용자가 압출형재를 선택하면 그에 따른 5개의 주된 프로그램들 중 해당 프로그램을 구동시켜주는 역할을 한다.

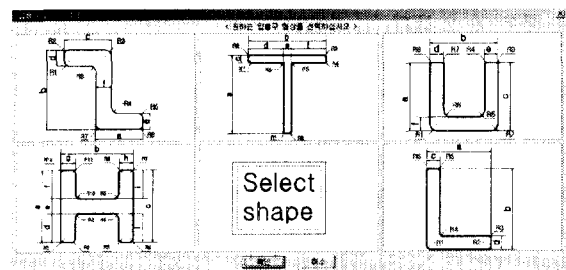


Fig. 2 Dialog-Box for selection of the section shape of the opening

3.2 압출형재 설계모델

Fig. 3에서의 대화창을 통해서 입력받은 형재단면의 치수를 이용하여 직선과 곡선으로 나뉘는 각각의 포인트로 자동 변환시켜 형상포인트 데이터로 저장하고, 저장된 데이터를 이용해서 형재를 인식하게 된다. 인식된 형재를 이용하여, 형재의 주변길이, 단면적, 형상계수를 계산하여, 입력받은 단면형상에 따른 결과 도면을 Fig. 4와 같이 출력한다. 출력된 도면에서는 압출할 형재 단면의 모양과 각부 치수를 재확인할 수 있고, 형상정보(형재의 주변길이, 단면적)와 압출할 형재의 단위중량 및 형상계수 값을 나타냄으로써, 주어진 압출형재의 압출 난이도를 판단할 수 있어, 사용자는 출력된 정보를 감안하여, 앞으로의 금형설계를 진행한다.

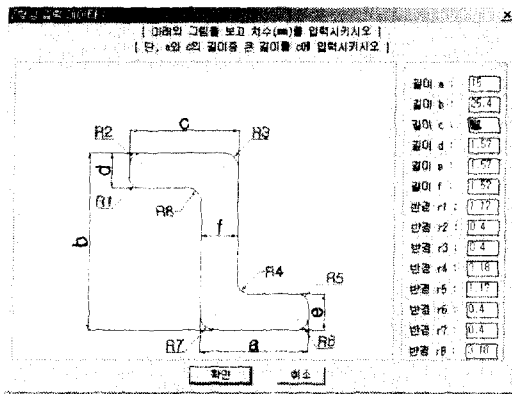


Fig. 3 Dialog-Box for input of the dimensions of section shape

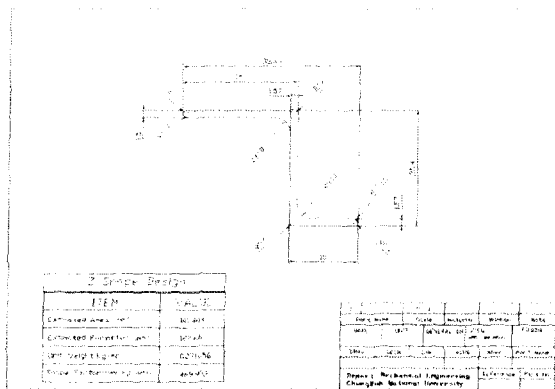


Fig. 4 Drawing for section shape to extrude

3.3 금형압출구 개수 선정모델

압출형재 설계모델에서의 출력데이터(형재의 단면적, 단위길이 당 중량 등)와 Fig. 5와 Fig. 6의 입력창에서의 데이터, 데이터 베이스에서의 데이터(컨테이너 직경, 알루미늄 비중, 빌렛규격 등)를 이용하여, 주어진 형재의 압출가공에 있어 빌렛규격과 압출구 개수에 따른 재료생산률, 압출비, 압출하중을 계산하고, 그 결과를 Fig. 7과 같이 화면상에 출력시킨다. 사용자는 보유된 프레스용량에 대해서 빌렛의 길이와 압출구 개수에 따른 재료생산률, 압출비, 압출하중 등을 감안하여, 최적의 압출구 개수와 빌렛길이를 선정한다. 압출구 개수 선정에 있어 압출구가 대칭이 될 수 있도록 짝수의 압출구 개수 선택과, 제품생산 효율면에서 다수의 압출구 개수 선택이 유리하다.

다음으로, 압출구 개수가 하나인 경우에는 제품 단면 최대외접원과 컨테이너직경 사이의 관계조건

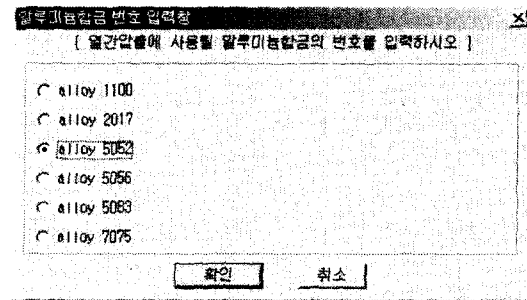


Fig. 5 Dialog-Box for input of aluminum alloy number

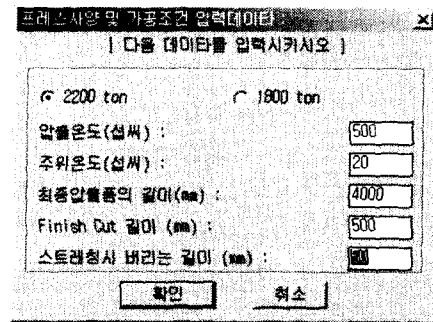


Fig. 6 Dialog-Box for input of the press capacity and the condition of hot extrusion

번호	7*12	7*14	7*16	7*18	7*20	7*22	7*24	7*26	7*28	7*30
1	37.5033	48.765	62.2174	77.975	95.932	116.991	141.154	169.424	201.793	238.254
2	2456.78	2897.95	3507.92	4287.68	5247.16	6387.46	7717.54	9247.41	10987.08	12947.56
3	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
4	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
5	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
6	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
7	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
8	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
9	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51
10	277.33	347.74	447.92	577.91	737.71	927.33	1147.78	1397.97	1677.91	2077.51

Fig. 7 Output for production rate, extrusion load per opening number and billet size

을 판단하여 참이면 다음 모듈을 수행하고, 거짓이면 사용자가 금형압출구 개수 선정모듈과 단면의 치수 재수정을 위한 치수입력창 중 선택하여 금형설계를 진행하게 된다.

3.4 금형압출구 설계모듈

금형압출구 설계모듈에서는 금형압출구의 위치와 방향을 결정한다. 입력사항을 Fig. 8과 Fig. 9와 같은 대화상자에서 사용자가 금형압출구 개수 선정모듈에서 선정된 압출구 개수에 따른 압출구 배치를 선택한다. 사용자의 압출구 배치 선택에 따라 금형의 압출구 사이거리에 따른 금형 강도를 금형강도조건이 만족 될 때까지 연속 루프를 돌려 배치시킴으로써 금형의 강도조건을 만족시키는 범위 내에서 최적의 압출구 배치를 할 수 있고, 또한 사용할 수 있는 압출구 개수를 최대로 할 수 있다.

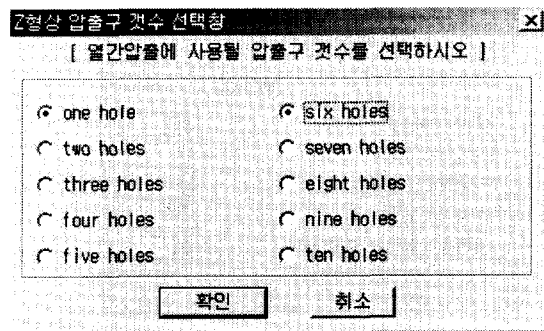


Fig. 8 Dialog-Box for selection of die opening number

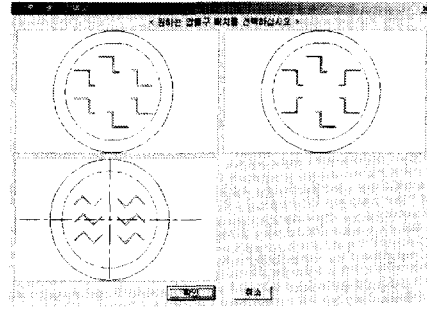


Fig. 9 Dialog-Box for selection of location of die openings

3.5 금형압출구 보정모듈

금형압출구 보정모듈에서는 열간 압출가공 후의 제품이 주위의 온도로 냉각되면서 열수축을 하므로, 제품의 열수축량을 감안하여 금형압출구의 치수를 보정한다. 이상의 압출형태 설계모듈, 금형압출구 개수 선정모듈, 금형압출구 설계모듈, 금형압출구 보정모듈을 수행한 결과로서 Fig. 10과 같은 금형설계 도면이 출력된다. 도면에서 압출구 치수는 형상보정 후의 치수들이고, 압출구들의 도심은 금형의 중심과 일치한다. 사용자는 금형설계 프로그램을 구동하여 짧은 시간 안에 금형설계 도면을 출력시킬 수 있으므로, 금형설계 시간의 단축은 생산의 효율성과 합리성에 부응한다.

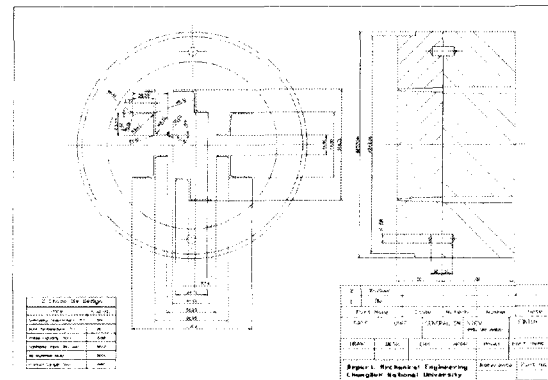


Fig. 10 Drawing of extrusion die for six opening

3.6 금형베어링 설계모듈

앞의 금형압출구 설계모듈과 금형압출구 보정

모듈을 통해서 설계된 규형의 압출구들에 대한 규형 베어링길이를 계산하고, Fig. 11과 같이 규형베어링 설계모듈의 계산결과가 규형베어링 설계도면으로 출력된다.

같은 동심원상에 포함되는 압출구 단면부의 베어링길이는 같고, 각각의 동심원에서의 베어링길이는 도면상에 표시된다. 베어링 설계도면은 압출규형 제작 시 규형베어링 가공에 있어서 압출구 각 부분의 베어링길이가 결정되어 있으므로 규형제작을 보다 용이하게 할 수 있다.

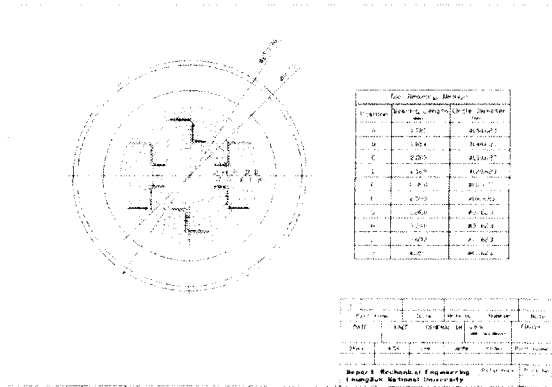


Fig. 11 Drawing of bearing design for extrusion die

4. 프로그램의 적용결과 및 고찰

프로그램 적용에 사용된 알루미늄 합금은 5000 계열 가운데서 내해수성이 우수해서 해양 컨테이너, 스틸캔의 끝부분 등 강도가 요구되는 일반공업에 널리 사용되는 알루미늄합금 5052이고, 압출할 형재의 단면형상은 기본형상 중 “Z”이며, 현장에서 보유하고 있는 프레스의 용량은 2200ton, 생산 후 압출제품의 길이는 4m로 하였다. 압출가공 시 버리게 되는 제품의 길이, 압출 시의 빌렛 온도 및 작업 현장의 주위 온도는 대화창에서 입력받는다.

4.1 압출형재 선택과 입력데이터

압출형재의 선택은 Fig. 2와 같은 메인 프로그램창에서 수행하고, 규형설계에 필요한 입력데이터들은 Fig. 3, Fig. 5, Fig. 6의 대화창을 통해서 입력된다. 입력데이터들은 각 설계모듈의 진행에서 몇 개의 대화창을 통해서 받기 때문에 시각적으로 보

다 확실히 입력데이터의 종류 및 값을 확인할 수 있다. 메인 프로그램창에서 “Z” 형재에 대한 규형설계를 선택하게 되면 Fig. 3과 같이 “Z” 형재 단면의 각부 치수를 입력시키는 형재단면 치수입력창이 화면에 나타나고, 사용자는 각 부분의 원하는 치수 입력시킨다. 다음의 Fig. 5의 알루미늄 합금번호 입력창에서 압출할 알루미늄 합금의 번호인 5052를 선택하고, Fig. 6의 프레스사양 및 가공조건 입력창에서 2200ton의 프레스용량을 선택하며, 압출온도, 주위온도 등을 입력시킨다. 입력받은 데이터들은 프로그램의 각각의 모듈에서 설계변수를 계산하는데 사용되고, 그 중 알루미늄 합금번호, 프레스 용량에 따른 알루미늄 비중값, 컨테이너 직경값 등이 데이터 베이스로부터 불러지게 된다.

4.2 규형설계변수 계산과 결과데이터

입력받은 데이터를 이용하여 압출형재 설계모듈을 수행한 결과는 Fig. 4와 같이 도면으로 화면에 출력된다. 출력된 도면에서 사용자는 압출할 “Z” 형재의 모양과 치수를 재확인할 수 있고, 출력된 형상계수 값으로 사용자는 압출 난이도를 알 수 있으며, 이를 감안하여 다음의 설계를 진행한다.

입력창에서의 데이터와 데이터 베이스에서의 빌렛규격, 압출형재 설계모듈에서의 결과값을 이용하여 규형압출구 개수 선정모듈을 수행한 결과가 Fig. 7과 같이 화면에 출력된다. 사용자는 보유한 프레스의 용량(2200ton)에 대해서 빌렛의 길이와 압출구 개수에 따른 재료생산률, 압출비, 압출하중을 고려하여, 프레스용량이 허용하는 범위 내에서 최대의 재료생산효율을 갖는 최적의 규형압출구 개수를 선정한다. 압출구 개수가 6개이고, 빌렛의 길이가 14 inch일 때 재료생산률이 82.66%가 되므로, 압출구 개수를 6개로 결정한다. 이와 같이 정리된 결과데이터 표를 사용해서 규형압출구 개수를 선택함으로써 보유하고 있는 프레스용량을 최대한 활용할 수 있고, 재료생산률도 극대화할 수 있다.

최적의 규형압출구 개수선정 후 Fig. 8과 Fig. 9 순으로, 사용자는 규형의 압출구 개수를 6개 선택하고, 규형압출구 6개에 따른 압출구 배치선택에서 압출구들이 규형의 중심점을 기준으로 점대칭을 이루며, 중심점을 기준으로 x축과 y축을 나누어 볼 때 좌우의 압출구 4개가 각 축에 대해서 선대칭이 되는 Fig. 9에서 우측 상단과 같은 규형압출구 배치

를 선택할 수 있다.

금형압출구 배치선택 후 압출구 배치에 따른 금형압출구 설계모듈과 금형압출구 보정보들을 수행한 결과로 Fig. 10의 압출구 6개의 금형 도면이 출력되고, 마지막으로 금형베어링 설계모듈을 수행한 결과가 Fig. 11의 압출금형의 베어링설계 도면으로 출력된다.

4.3 도면출력 결과 및 고찰

Fig. 10의 압출금형 도면에서, 각각의 압출구 사이의 거리는 압출가공 시에 금형의 파손을 방지할 수 있도록 정해졌고, 압출구들의 단면에 대한 도심은 금형의 중심과 일치하며, 각각의 압출구 치수는 열간압출 후 제품의 열수축을 감안하여 형상 보정된 압출구 치수이다. Fig. 11의 압출금형에 대한 베어링설계 도면은 Fig. 10의 압출금형 도면에서 압출구의 각 부분에서의 베어링길이를 나타낸다. A~J의 금형 중심점을 중심으로 하는 동심원들을 보면, 동심원 A는 금형 중심에서 압출구까지의 최대의 접원이 되고, 동심원 B~J는 동심원 A로부터 5mm간격으로 금형의 중심으로 그려진 것으로, 각 동심원에 포함되는 압출구 단면부분의 베어링 길이는 같으며, 동심원들에 따른 베어링 길이들은 도면에 나타내었다.

이와 같이, 프로그램 구동에 있어 초기데이터 입력을 마치면 출력되는 설계변수 값들 및 도면을 보면서 금형설계를 쉽고, 편리하게 할 수 있으며, 압출에 필요한 금형 및 금형베어링 설계도면을 빠른 시간 내에 출력 받으므로 보다 광범위한 데이터 베이스와 설계규칙 및 압출형상이 보충된다면, 출력된 결과를 가지고 바로 금형제작에 들어 갈 수 있다. 따라서 신제품이나 단면형상의 치수가 바뀐 제품의 금형제작 시간을 줄일 수 있다.

5. 결 론

1. AutoCAD환경에서 작동되는 AutoLISP언어를 이용하여 알루미늄합금 형재의 열간압출 Flat-Face금형 자동설계프로그램을 개발하여 여러 가지 기본단면형상의 단면치수 변화에 따른 각각의 금형도면을 신속히 얻을 수 있었다.
2. 보유한 프레스용량을 최대한 활용할 수 있으므로, 제품의 생산효율을 높일 수 있다.

3. 경험이 적은 미숙원자도 CAD화면의 대화상자를 통해 쉽게 금형설계를 할 수 있으며, 출력된 결과도면은 즉시 현장에서 사용할 수 있다.

4. 설계시간의 단축으로 제품 생산성을 향상시켜 제품공급일정을 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

1. Watts,G.A., "Computer-Aided Design of Extrusion Dies," 4th BNF Computer Conference, Birmingham, 1974.
2. Nagpal,V., and Altan,T., "Computer-Aided Design and Manufacture for Extrusion of Aluminum, Titanium and Steel Structural Parts(Phase 1)," AVSCON Report No. 76-12, AMMRC CTR 76-6, 1976.
3. Nagpal,V., Billhardt,C.F., and Altan,t., "Computer-Aided Design and Manufacturing for Extrusion of Aluminum, Titanium and Steel Structural Parts(Phase 2)," AVRADCOM Report No. 78-29, AMMRC TR78-26, Vol. 2, 1978.
4. Nagpal,V. and Altan,T., "Computer-Aided Design and Manufacturing of Dies for Lubricated Extrusion of Shapes," J. of Mech. Working Tech., Vo 1.1, pp.183-201, 1977.
5. Billhardt, C.F., Nagpal,V. , and Altan,T., "A Computer Graphics System for CAD/CAM of Aluminum Extrusion Dies," SME paper, MS78-957, 1978.
6. Nagpal,V., Billhardt, C.F., and Altan, T., "Lubricated Extrusion of "T" Sections from Aluminum, Titanium and Steel Using Computer-Aided Techniques," ASME, Trans., J. Engr. Industry, Vol. 101, pp. 319-325, Aug, 1979.
7. 최재찬, 김병민, 이진희, 조해용, 이종수, 홍성석, 조남춘, "알루미늄합금 형재의 열간압출 금형 설계 자동화에 관한 연구," 한국정밀공학회지, Vol. 7, No. 3, pp. 26-36, 1990.