

축대칭 제품을 위한 프레스 냉간단조 금형의 자동설계 기술

김종호*, 류호연*, 홍기곤*

An Automated CAD System for Press Die Design in Cold Forging of Axisymmetric Parts

Jong ho Kim*, Ho Yeun Ryu*, and Ki Gon Hong*

ABSTRACT

The automated die design program is developed for cold forging of axisymmetric parts which are mainly produced by forward extrusion, backward extrusion, composite extrusion and upsetting. For this study, firstly classification of forged parts and investigation of die construction type usually employed in forging industry are carried out and the most proper type from several kinds of die constructions is proposed as a standardized one. Based on the die design rules summarized in the references such as handbooks, technical papers, monthly journals, etc. the automated die design program was made using AutoLISP language available in AutoCAD software of personal computer. This program interactively runs for only input data, for example, forging process, shape of forged parts, type of punch, split of die insert and design of shrinkage rings and then displays details of drawings necessary to make a forging die. When a variety of forging processes and forged parts are tested to examine the validity of this program, it was confirmed to give good results applicable to the forging die design in press shop.

Key Words : Automated die design program(금형 자동설계 프로그램), Composite extrusion(복합 압출), Die construction(금형구조), Split of die insert(다이 분할), Shrinkage ring(보강링), Forging die design(단조금형 설계)

1. 서론

소성가공의 방법에는 벌크가공, 박판가공으로 크게 분류되고 이들 분야에는 여러 공정들이 포함되어 있으며 이들 중 자동차, 항공, 조선산업 등에 기초요소이면서 필수적인 부품들은 거의가 단조가공에 의해 생산되고 있다. 단조품은 형상이 단순한 것에서부터 복잡한 것까지, 그리고 크기도 볼트와 같은 작은 제품에서부터 크랭크축, 터빈블레이드

와 같은 큰 제품까지 다양하게 걸쳐져 있고, 작업도 냉간과 열간에서 하는 등 여러 가지 변수들이 복잡하게 구성되어 있기 때문에 단조 공정설계나 금형설계 등이 쉽지 않고, 이론적인 것보다는 현장의 경험과 기술에 의존하여 제품을 개발하는 것이 대부분이었다. 이로 인하여 시행착오가 많아지면서 시간과 비용 손실이 크게 되고, 외국기업과 비교하면 시간과 비용 손실이 크게 되고, 외국기업과의 기술 수준차는 점점 커지고 있는 상황하에서, 기술 경쟁

* 서울산업대학교 금형설계학과

력을 제고하기 위해선 체계적인 기술개발과 설계 지원 시스템이 필요하다. 즉 단조품의 공정설계 등이 전문가 시스템에 의해 검증되고 유용한 것으로 판단된 후 시제품을 개발하게 되면 개발 기간과 비용의 절감은 물론 금형 기술 축적이 체계적으로 데이터베이스화되면서 관리될 수 있는 장점이 있다.

국내에서의 단조금형설계는 일부 개발되어^(1, 2) 부분적으로 사용되고 있으나 대부분 변형이 일어나고 있는 다이링 설계가 주요 관심사항이었으며, 제품 형상에 따라 체계적으로 설계, 정리된 것은 아직 발표되지 않은 상태이다. 또한 컴퓨터에 의한 금형설계를 하더라도 대부분 소프트웨어 상에서 설계자에 의한 수작업 설계가 대부분이고 자동설계는 거의 이루어지지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 이들을 위해 먼저 단조품들을 형상에 따라 그루핑(grouping)하고 이들에 맞는 금형 구조들을 규격화, 표준화하고자 한다.⁽³⁻¹¹⁾ 그리고 금형 구조에 대한 표준이 없는 상태에서 프레스 메이커별로 추천하고 있는 다이세트(die set) 규격이나 국내의에서 발표되고 있는 금형 구조들을 정리하여 금형 업체에 적용하기 쉬운 표준 금형 구조를 정하고,⁽³⁾ 이를 기준으로 하여 AutoCAD 환경에서 AutoLISP⁽¹²⁻¹⁵⁾ 언어를 사용하여 자동으로 금형을 설계, 제도할 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다. 개발 대상으로는 냉간 단조 공정의 대부분을 차지하고, 프레스에 의해 성형이 되는 전방압출, 후방압출, 복합(전후방)압출, 업세팅 등에 의해 성형되는 제품이다.

2. 단조 제품의 분류

금형설계 구조를 표준화하기 위해 현장에서 많이 사용되고 있는 축대칭 단조품을 단조방법, 제품 형상에 따라 분류해보면 기본적으로 그림1에서 그림3까지와 같이 분류, 요약할 수 있다.

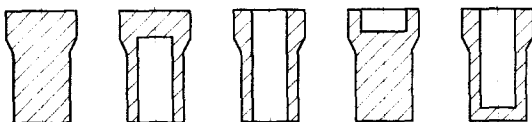


Fig. 1 Typical products in forward extrusion

그림1의 전방압출에는 모두 5가지 형태의 제품이 분류되어 있지만 이들은 모두 기본형상만을 나

타낸 것이고 최대 3단 제품까지 확장하여 적용할 수 있다.

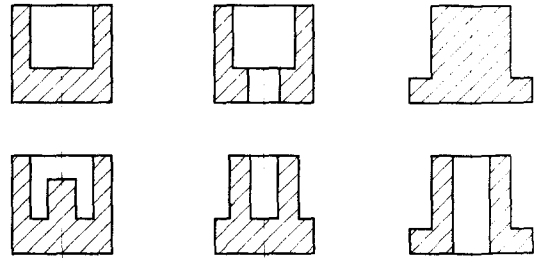


Fig. 2 Typical products in backward extrusion

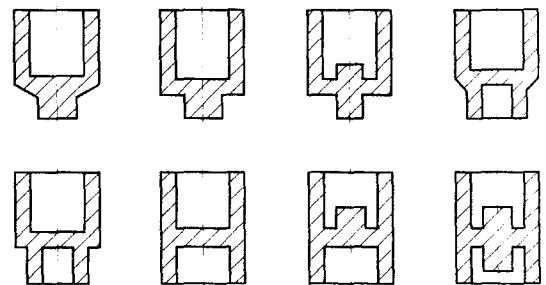


Fig. 3 Typical products in composite (forward-backward) extrusion

그림2와 그림3은 각각 후방압출과 복합압출 제품의 기본형상을 나타낸 것으로 이들은 모두 아이콘(icon)화하여 모니터 화면상에서 선택만 하면 자동 설계가 진행되도록 한다. 만약 등록되지 않은 제품이나 단조 공정중의 중간단계 제품들일 경우엔 '사용자 정의' 모듈을 통하여 설계되도록 한다. 또한 프레스에서 업세팅되는 냉간 단조품에 대해서는 그 형상이 다양하므로 제품별 아이콘화를 하지 않고 AutoCAD 환경 하에서 설계된 공정도나 제품도를 직접 스캐닝하여 치수와 형상을 자동으로 인식한 후 설계할 수 있도록 한다.

3. 단조 금형의 표준화 및 설계기준

3-1. 단조 금형의 표준화 방안

지금까지의 관련문헌⁽⁵⁻¹¹⁾과 현장자료^(3, 4)에 근거하여 냉간 단조금형의 조립 단면도 구조를 살펴보면 대체로 볼트에 의한 체결방식과 링나사(clamp

ring)에 의한 체결방식으로 나눌 수 있다. 볼트 체결 방식은 오래 전부터 현장에 많이 적용되어온 방식이지만 체결력의 불균일, 금형분해, 조립시의 번잡함 등으로 인해 최근에는 링나사 방식을 더 선호하는 경향이 있다. 따라서 본 연구에서는 금형의 정밀도 향상, 금형 수명의 연장, 금형 조립 분해의 단순화 및 금형의 설계자동화 등을 위해 그림4와 같은 금형 구조의 표준을 제시하고, 이를 기준으로 금형설계 프로그램을 작성하였다.

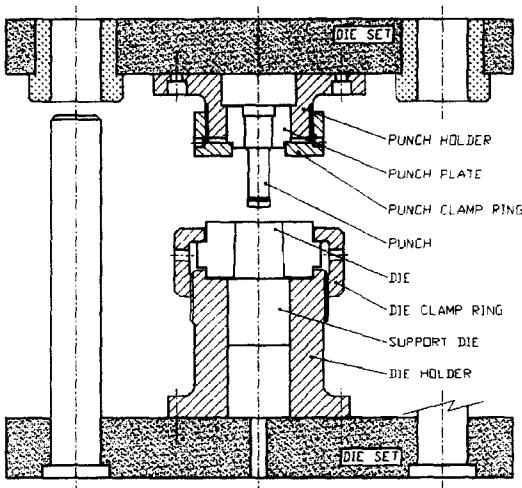


Fig. 4 Standardized die construction for cold forging

금형설계를 위해 먼저 제품의 형상과 치수를 좌우하는 금형부품들 즉, 펀치(punch), 펀치 고정판(punch plate), 다이(die), 보조다이(support die), 녹아웃(knock-out) 장치 등은 성형품에 따라 변화될 수 있지만 그림4의 해칭한 부분과 같이 이들을 지지, 고정시켜주는 홀더류 부품(펀치홀더, 다이홀더, 펀치 클램프링, 다이 클램프링, 다이세트)들은 크기별로 규격화하여 전방압출 및 후방압출, 복합압출, 업세팅 금형에까지 공통으로 적용되도록 하였다. 이 표준형 부품들은 형상과 크기에 따라 데이터베이스를 만들고 금형 설계시 자동으로 데이터 검색을 통하여 설계에 응용되도록 하였으며 새로운 부품의 자료는 설계자가 직접 입력하여 사용할 수 있도록 하였다.

3-2. 금형 설계기준

냉간 단조 금형에 관한 설계기준은 각 공정별로 소재와 제품의 형상과 치수, 소재의 장입, 제품의 취출방법 등을 고려하여 수식화하였으며 그 중의 예제 하나를 그림5에 표시하였다. 단조품과 관련이 있는 금형부품들의 치수 설계는 가능한 한 소재와 단조품의 치수를 이용하여 각 부품의 치수를 결정하도록 설계기준을 작성하였다.

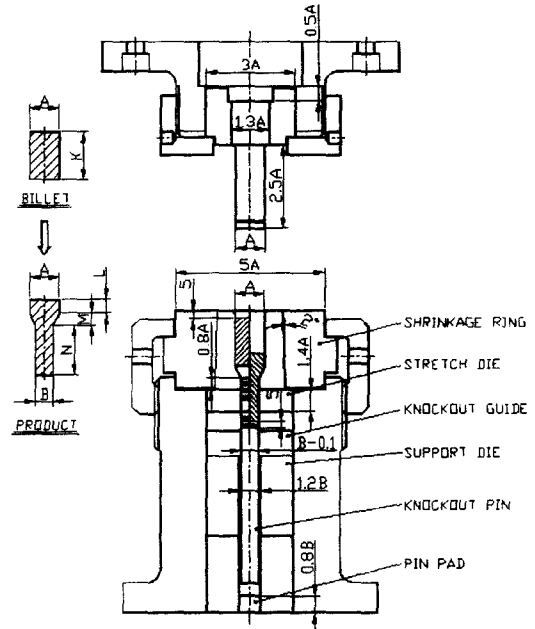


Fig. 5 Design basis for forward extrusion die

그림5의 설계기준을 작성할 때 참고문헌 자료의 데이터가 범위로 주어진 것은 중간 값으로 취하였고, 필요에 따라서는 설계자가 추후 프로그램상의 설계기준을 바꿀 수도 있다. 상형과 하형의 홀더류 부품들은 펀치, 다이, 보조다이 등의 치수와 강도를 고려하여 설계기준을 작성하였다. 소재는 금형 컨테이너에 모두 장입되어 성형시 펀치가 소재에 접촉하기 전에 먼저 다이 구멍에 안내되도록 소재와 다이 윗면과의 간격을 5mm로 설정하였다.

전방압출 금형의 성형랜드부와 교정랜드부는 분할하여 가공이 쉽고 수압 능력이 크도록 하였고, 제품 길이가 길어질 경우엔 교정다이(stretch die)의 개수를 늘려 설계하도록 하였다. 보조다이는 2개로 나누어 설계하였으며, 높이는 다이홀더의 내부 높이에서 교정다이와 녹아웃가이드 높이를 뺀 나머지 부분으로 하였다. 튜브제품의 전방압출에서는 그림

5의 하형 부분과는 달리 그림6과 같이 카운터 펀치(counter punch)와 녹아웃 장치 등이 필요하게 된다.

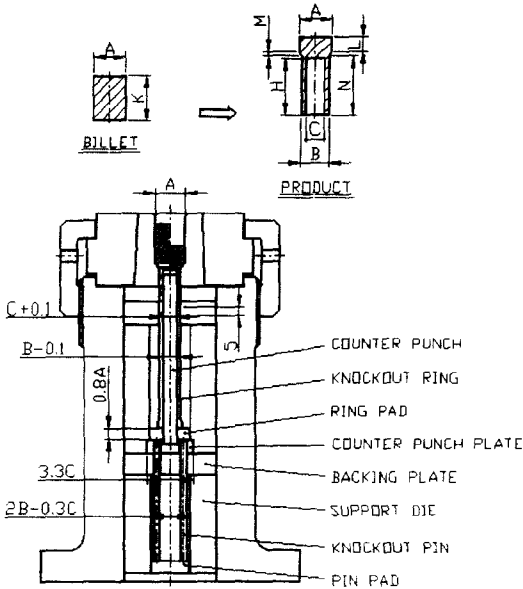


Fig. 6 Design basis for forward extrusion die of tubes

후방압출에서는 성형후의 제품 길이가 다이의 높이를 좌우하기 때문에 제품 취출방식에 따라 다이 높이 계산이 달라진다. 즉 가동식 스트리퍼(movable stripper plate)를 사용하는 경우엔 스트리퍼가 상형에 고정되어, 단조작업시 스트리퍼가 펀치와 다이 중심의 안내기능을 할 수 있도록 먼저 다이내에 장입되고 그 다음 펀치가 내려오기 때문에 제품의 편심을 방지하고, 펀치를 보호할 수 있는 장점이 있으며, 이 경우의 다이 높이는 제품 높이에 가이드 길이 10mm와 여유량 5mm를 더한 값으로 하였다. 또한 고정식 스트리퍼를 사용하는 경우 이거나, 스트리퍼를 사용하지 않는 경우엔 여유량 5mm만을 고려하였다. 하형의 설계기준은 전방압출과 거의 동일하며 카운터펀치가 녹아웃핀의 역할을 하면서 단조 하중을 직접 받기 때문에 하중과 좌굴에 대한 충분한 고려가 필요하다.

복합압출 금형의 설계기준은 전방압출과 후방압출이 동시에 이루어지기 때문에 다이와 녹아웃장치의 형태는 전방압출과 동일한 설계기준을 갖고 있으며, 펀치의 설계기준은 후방압출의 경우와 같다. 따라서 복합압출 금형을 설계할 때는 성형 전

후의 제품 형상을 감안하여 전방압출과 후방압출에서 사용한 설계기준을 응용하면 된다. 이러한 방법은 설계자의 판단에 따라 컴퓨터 화면상에서 '사용자 정의'란을 이용하여 대화식으로 결정해 나가도록 되어 있어 임의의 축대칭 단조품 형상에 모두 적용 가능하다.

업세팅 금형에서는 제품의 형상이 펀치나 다이의 캐비티(cavity)부 형상을 결정하기 때문에 다이의 성형부는 사용자가 설정한 분할선(parting line)을 중심으로 제품 밑면까지의 높이로 하였고 제품 길이가 만큼의 녹아웃 높이를 설정하였다.

3-3. 보강링 설계 및 다이 분할

냉간 단조에 있어서 단조 하중은 상당히 크게 작용하기 때문에 다이링을 1개로 설계하면 강도 부족으로 인한 다이 파손이 우려된다. 따라서 다이 내부에 예압(prestress)을 작용시켜 높은 압력에 견딜 수 있도록 보강링 설계 및 다이 분할을 할 필요가 있다. 단조 하중을 기준으로 금형내의 압력을 계산하고 이 압력 크기에 따라 보강링의 개수가 자동 결정되고, 다이와 보강링의 재질에 따라 다이의 항복응력을 기준으로 보강링 설계를 하도록 하였다.^(16, 17)

--주의-- 사용자 입력 미입력란 수정해 가능합니다.			
외径	148.752	보강링 수	2
내경		사용재질	140
다이하 --주의-- 안전계수는 수정해 가능합니다.			
재질	SKH9	강도 (HRC)	62
길이		반복 길이	260
내경	40	외경	95.2642
		안전 계수	0.8
1차 보강링 --주의-- 안전계수는 수정해 가능합니다.			
재질	SCM	강도 (HRC)	45
길이		반복 길이	136.6
외경	125	내경	95
가압 온도	247.651	외경	16.8115
		안전 계수	0.8
2차 보강링 --주의-- 안전계수는 수정해 가능합니다.			
재질	SCM	강도 (HRC)	41
길이		반복 길이	122
외경	480	내경	134
가압 온도	377.437	외경	20.2561
		안전 계수	0.8

Fig. 7 Dialog box for shrinkage ring design

보강링 설계 결과는 그림7과 같이 다이 인서트 및 1차, 2차 보강링의 치수 및 재질, 간섭량, 열박온도 등이 나타나고 사용자가 내압이나 안전계수 등을 바꾸어 다시 수정할 수도 있다.^(16, 17)

다이 분할은 가로분할과 세로분할로 분류하여 화면상에서 선택적으로 설계되도록 하였다.^(4, 6) 분할위치는 제품 성형시 특히 응력을 많이 받는 코너

부를 중심으로 분할을 하였으며 가로분할시엔 보강링도 다이의 분할선에 맞춰서 함께 분할되도록 하였다.

4. 프로그램의 구성 및 적용

냉간 단조금형의 자동설계를 위한 프로그램 구성도가 그림8에 주어져있다. 금형설계를 위해 먼저 공정의 종류, 제품의 형상 등을 파악하여 표준화된 금형구조 형태를 선정하고 펀치, 다이 등의 세부설계를 하게된다. 설계자의 선택에 따라 펀치 선단의 형상, 다이 분할방법 등이 결정되고 데이터베이스에 저장되어 있는 표준금형 부품 치수와 비교, 검토해가면서 금형 부품을 설계한다.

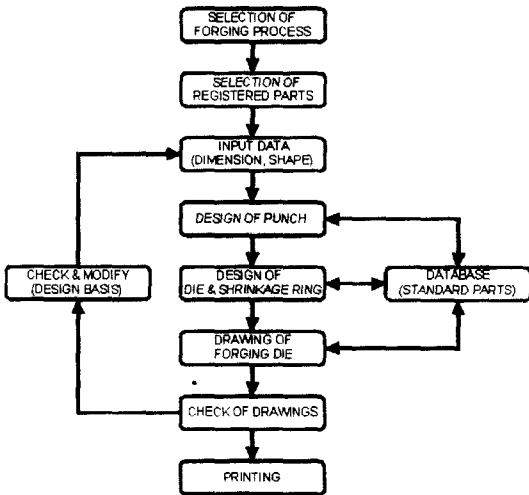


Fig. 8 Automated die design process for cold forging

각 부품들의 형상, 치수, 부품명, 재질 등은 자동으로 설계 처리되고, 도면상에 표기되는 형상 및 치수공차, 표면 거칠기 등은 금형 가공기계, 제품의 품질 수준, 설계자의 의도에 따라 변화되기 쉽기 때문에 이들은 도면 검토단계에서 설계자가 직접 화면상의 메뉴를 클릭(click)하면서 필요한 정보를 입력할 수 있도록 하였고, 금형 재질 또한 본 프로그램에서는 일반적으로 많이 사용되는 대표적 금형강재들을 부품표 란에 자동 기입되도록 하고, 특수 금형재질을 원할 경우엔 금형재 선택방법, 금형수명, 적용례 등에 관한 부록자료를 설계자가 쉽게 참고하여 재질 변경도 가능하도록 하였다.

전방압출, 후방압출, 복합압출의 금형설계에 있어서 등록된 제품이 없을 경우엔 그림9의 우측 하단에서와 같이 설계자가 임의의 형상을 고려할 수 있도록 '사용자 정의' 모듈을 두어 설계할 수 있도록 하였고, 업세팅에서는 사용자가 제품 도면만을 선택함으로써 금형설계가 이루어지도록 하였다.

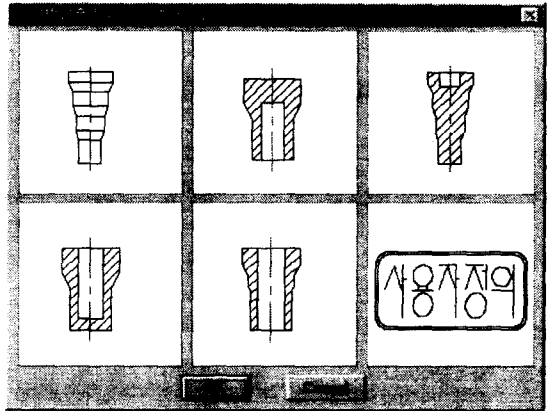


Fig. 9 Dialog box for selecting a desired shape in case of forward extrusion

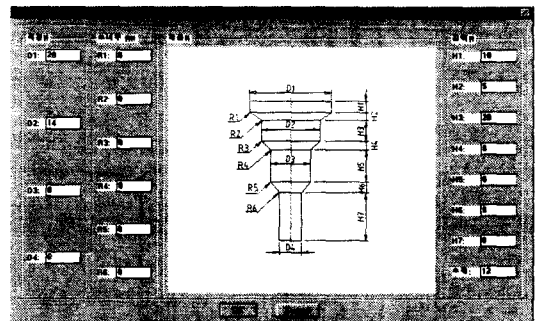


Fig. 10 Dialog box for input data in case of forward extrusion

특히 후방압출 '사용자 정의'의 경우에는 업세팅 금형 설계 방식과 마찬가지로 AutoCAD 화면상의 제품도를 윈도우 박스(window box)를 이용해 외곽을 선택하면 제품치수에 대한 데이터를 자동으로 스캐닝하여 금형을 설계하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 16Mb 이상의 메모리와 2Mb 이상의 VGA 카드를 장착한 486급 이상의 PC에서 작동이 가능하며 운영체제로는 Windows 95를 사용

하고 있다. 사용 언어로는 AutoCAD 환경 하에서 AutoLISP을 이용하였으며 홀더류와 같은 외부 데이터 등은 '.txt' 형태의 파일로 만들어 사용자가 데이터를 추가 또는 삭제할 수 있도록 하였다.

그림9는 프로그램 진행중의 입력자료의 하나로 압출 제품을 선택하도록 하는 대화상자(dialog box)이고, 그림10은 그림9에서 선택된 제품의 치수를 입력받기 위한 대화상자이다. 이밖에도 다이나 편치를 선택할 수 있는 대화상자와 사용자 정의의 세부적인 설계에 필요한 대화상자 등이 있어 전문적인 지식이 없는 사용자라 할지라도 쉽게 금형을 설계할 수 있도록 프로그래밍하였다. 이와 같이 대화상자를 통해 전방압출 제품에 대한 금형설계 예제를 수행하면 그림11과 같은 조립도면과 이에 관련된 부품도면들을 그림12와 그림13에서처럼 얻을 수 있고, 부품 리스트는 그림14에서와 같이 출력된다. 이와 같은 도면 출력은 후방압출, 복합압출, 업세팅 금형에도 모두 적용 가능하며, 이들 중의 예제로 복합압출에 대한 금형 조립도가 그림15에 주어져 있다.

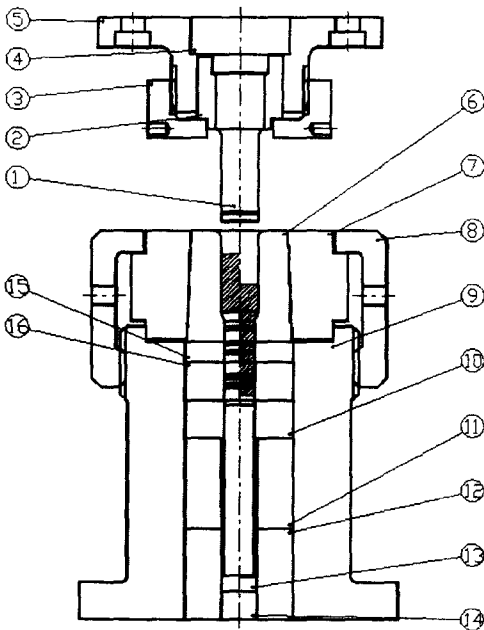


Fig. 11 Cross-sectional view of forward extrusion die

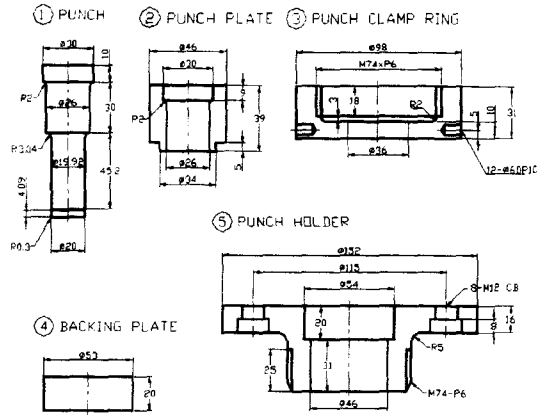


Fig. 12 Details of die components for forward extrusion die(upper parts of a die)

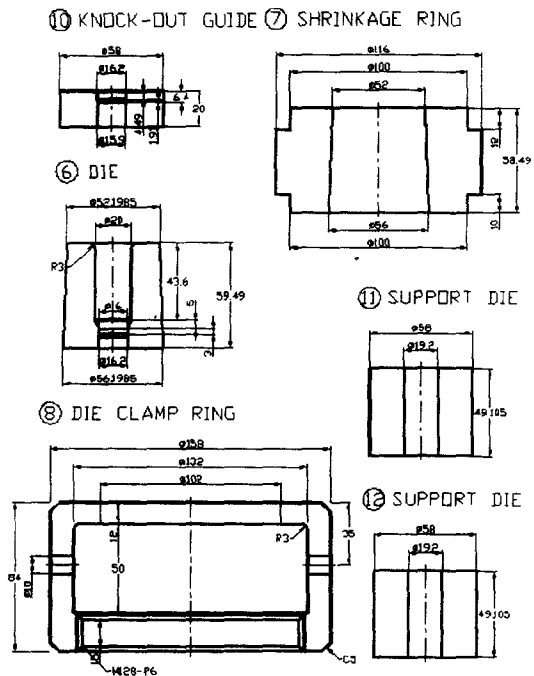


Fig. 13(a) Details of die components for forward extrusion die(lower parts of a die)

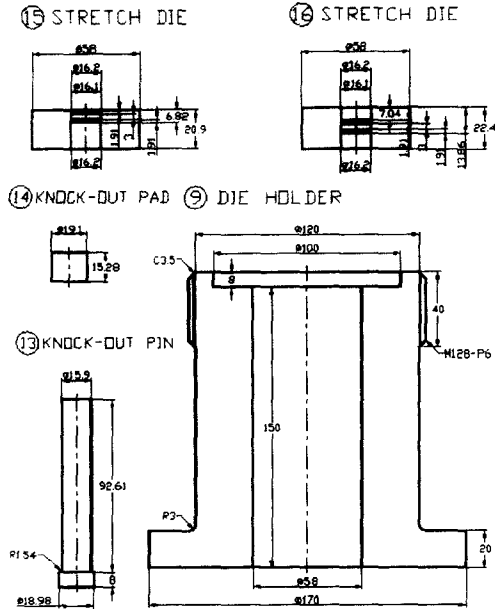


Fig. 13(b) Details of die components for forward extrusion die(lower parts of a die)

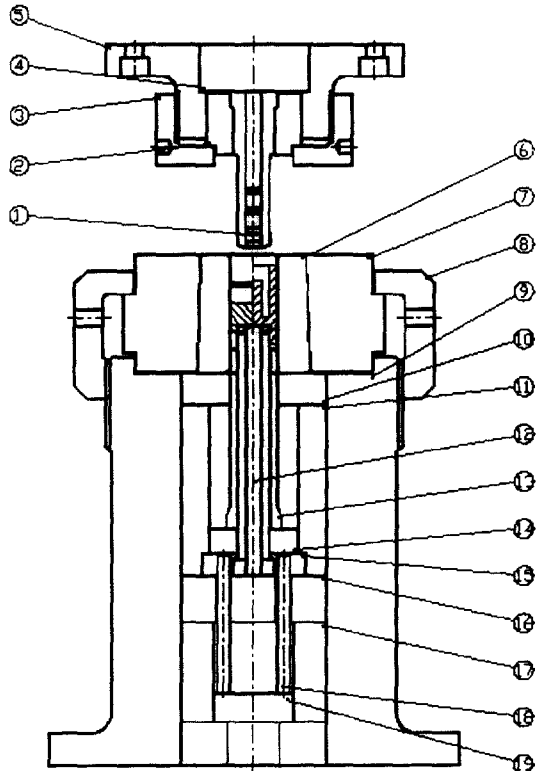


Fig. 15 Cross-sectional view of composite extrusion die

NO	PART NAME	MATERIAL	QTY	REFERENCE
16	STRETCH DIE	STD11	1	HRC60 _{#1}
15	STRETCH DIE	STD11	1	HRC60 _{#1}
14	KNOCK-OUT PAD	STD11	1	HRC60 _{#1}
13	KNOCK-OUT PUN	STD11	1	HRC60 _{#1}
12	SUPPORT DIE	STD11	1	HRC60 _{#1}
11	SUPPORT DIE	STD11	1	HRC60 _{#1}
10	KNOCK-OUT GUIDE	STD11	1	HRC60 _{#1}
9	DIE HOLDER	SM45C	1	
8	DIE CLAMP RING	SM45C	1	
7	SHRINK RING	SCM3	1	HRC50 _{#1}
6	DIE	SKH9	1	HRC62 _{#1}
5	PUNCH HOLDER	SM45C	1	
4	BACKING PLATE	STD11	1	HRC60 _{#1}
3	PUNCH CLAMP RING	SM45C	1	
2	PUNCH PLATE	SCM3	1	HRC50 _{#1}
1	PUNCH	SKH9	1	HRC62 _{#1}
TITLE				
DATE				
DRAWN	DIM	SCALE	SNUT	
DESIG'D	MM	1/1	Metal Forming Lab	
CHK'D				
APPR'D			DRG NO	

Fig. 14 Stock list for forward extrusion die

5. 결론

본 연구에서는 냉간 단조금형의 자동설계 기술을 개발하기 위하여 현장에서 사용되고 있는 금형을 형태별로 분류하고 이들로부터 가장 합리적인 금형구조 설계방식을 선정하여 이를 본 연구의 표준모델로 하였다. 제품치수와 직접 관련이 없는 부품들은 규격화, 표준화하여 냉간 단조금형에 공통으로 사용할 수 있도록 하고, 제품 치수에 직접 영향을 미치는 부품들에 대해서는 각 공정별로 설계 기준을 작성하여 프로그래밍하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 AutoLISP 언어를 이용하여 PC 급의 AutoCAD 환경하에서 개발된 것으로, 사용하는 업체별로 사내 금형 부품 자료만 데이터베이스에 입력하면 업체의 프레스 장비에 적합한 금형설계를 자동으로 수행할 수 있도록 하였으며, 여러 냉간 단조 제품에 대해 프로그램 테스트를 해본 결과 단조 금형의 설계에 적용 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구(I)," 대한기계학회 논문집, 제12권 제4호, pp. 712-720, 1988.
2. 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, "PC에 의한 냉간 단조공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구(II)," 대한기계학회 논문집, 제13권 제1호, pp. 190-198, 1989.
3. "冷間鍛造への入門," アイダエンジニアリング株式会社.
4. "Practice of cold forging," Komatsu Co., 1979.
5. "단조 금형의 자동설계 기술개발에 관한 연구," 통상산업부 중간보고서, 1996, 1997.
6. "냉간단조의 기초," 월간 프레스·몰드, 기술정보사, pp. 102-119, pp. 135-170, 1993, 3.
7. "단조프레스의 자동화," 월간 프레스·몰드, 기술정보사, pp. 93-102, 1991, 12.
8. 월간 프레스·몰드, "최신단조기술," 기술정보사, pp. 102-106, 1993, 10.
9. 월간 프레스·몰드, "최신 정밀 냉·온간 단조기술을 탐구한다," 기술정보사, pp. 58-79, 1991, 9.
10. 이봉훈, "단조기술 I. II," 단조기술 연구소, 세화, 1991.
11. 김박윤, "압축가공금형," 대광서림, 1997.
12. "AutoCAD Release 13 사용자 매뉴얼," Autodesk 사, 1994.
13. 이한규, "AutoLISP 완벽 가이드," 영진출판사, 1994.
14. 구본훈, "AutoCAD에서의 DCL 활용," 성안당, 1995.
15. 이현준, "알기쉬운 AutoLISP," 정보문화사, 1995.
16. Howard H. Kuhn, "Optimum Die Design for Powder Compaction," American Powder Metallurgy Institute, vol. 14, No. 4, pp. 259-275, 1978.
17. A. P. Green, P. R. Lancaster, "Design of a Composite Drawing Die with a Brittle Insert," Int. J. Mech. Sci. Pergamon Press Ltd, vol. 8, pp. 281-294, 1966.