

본 연구는 1991년도 한국과학재단의 목적기초과제 학술연구조성비에 의하여 연구 되었으며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

평면변형 H-형재의 열간단조 공정설계 및 금형설계

최 재 찬*, 김 병 민*, 김 성 원**

Computer-Aided Process Planning and Die Design for Hot Forging of H-Shaped Plane Strain Components

Jae-Chan, Choi*, Byung-Min, Kim*, Seong-Weon, Kim**

ABSTRACT

This research describes some developments of computer-aided process planning and die design for hot forging products of H-shaped plane strain produced by the press. The system is composed of three main modules (process planning module, die design module and simulation module) which are used independently or in all. System capabilities include as follows:

1. In process planning module, process variables are calculated and preform shape and dimensions are generated in graphic form.
2. In die design module, using the results of process planning module, the shape and size of blocker and finish die in each operation are determined and the output is generated in graphic form for manufacturing drawing.
3. In simulation module, the flow pattern of workpiece and the load/stroke curve are approximately predicted.

Design rules for process planning and die design are extracted from plasticity theories, handbooks, relevant references and empirical know-how of field experts in hot forging companies. The developed system provides powerful capabilities for process planning and die design of hot forging products.

기호설명

<p>Hf : 최종제품의 리브높이(mm)</p> <p>Hpi : i번째 블럭커의 리브높이(mm)</p>	<p>Wf : 최종제품의 리브폭(mm)</p> <p>Df : 최종제품의 웨브폭(mm)</p> <p>Bf : 최종제품의 최대폭(mm)</p>
---	---

* 부산대학교 기계설계공학과(정회원)

** 부산대학교 기계기술연구소(정회원)

Bp : 블록커의 최대폭(mm)
 Rater : $X_1 X_2 \dots X_n$

1. 서 론

한 부품을 단조에 의하여 생산하는 과정은 먼저 기계 가공부품을 단조품으로 바꾸고, 변환된 형상에 대하여 공정설계와 금형설계를 수행한다. 사용장비, 재료 및 생산수량 등의 생산조건에 따라서 성형방법을 결정하여 빌렛과 최종다이를 설계한다. 그런다음 최소의 공정으로 부품을 생산할 수 있는 예비성형체를 설계한다. 많은 부품들이 소재로부터 최종부품을 한 공정으로 성형하기에는 어려움이 많기 때문에 몇 개의 예비성형공정이 필요하다. (1, 2)

예비성형체 설계의 목적은 최종공정에서 양호한 금속 유동과 다이채움을 얻어 결함이 없는 부품을 생산하고 다야마모를 줄임으로써 다이수명을 연장시키고 또한 플래시오의 재료손실을 최소화하여 생산비용을 줄이는데 있다. 그러나 열간단조에 의하여 성형되는 부품들은 형상이 복잡하기 때문에, 이와같은 목적의 예비성형체를 설계하기 위해서는 오랜 경험을 필요로 한다. (3, 4)

이전에 제시된 몇가지 설계방법이 있다. A. N. Bruchanov와 A. V. Rebelski는 중앙에 좁은 웨브폭을 가진 H-형재의 단면에 대하여 예비성형체의 설계방법을 제안하였으며, K. Lange는 H-형재의 단면을 리브높이/폭의 비에 따라 3가지 다른 방법을 제시하였다. (3, 5) 또한 A. Chamouard 그리고 S. K. Biswas와 W. A. Knight는 금속유동을 용이하게 하기 위하여 리브와 웨브를 지수곡선으로 연결하는 방법으로 예비성형체의 형상을 개발하였다. (6)

예비성형체 혹은 블록커의 자동설계를 위한 시스템도 개발되었다. T. L. Subramanian, N. Akgerman, T. Altan 등은 복잡한 부품을 간단한 "L" 형태로 분할하여 설계할 수 있는 시스템을 개발하였다. (7) 최근에는 전문가시스템을 이용하는 방법도 개발되었다. K. R. Vemuri는 리브/웨브 형상에 대하여 블록커를 자동으로 설계할 수 있는 시스템을 개발하였다. (8)

본 연구에서는 이전에 제시된 경험규칙을 이용하여 평면변형 H-형재 부품의 열간단조 공정설계 및 금형설계 시스템을 개발하며, 개발된 시스템을 이용하여 제안된 예비성형체의 설계방법에 대하여 설계한계와 가능성을 고찰하였다.

2. 시스템의 구성방법 및 작동원리

본 연구에서 개발된 시스템은 프레스에서 성형되는 평면변형 H-형재의 열간단조품에 대한 공정설계 및 금형설계를 자동으로 수행할 수 있다. 시스템의 개발에 사용된 프로그램 언어는 범용 CAD 시스템인 AutoCAD 환경에서 수행되는 AutoLISP를 이용하였다. 이 언어는 복잡한 형상의 제품을 대화식으로 혹은 자동적으로 표현하는데 그리고 설계규칙을 시스템 내에 구축하는데 용이하다.

시스템의 진행방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였지만 설계규칙으로부터 결정된 값 혹은 일반적으로 많이 사용되는 값이 초기치로 설정되도록 하였다. 또한 작업순서는 산업체에서 설계하는 방법과 동일한 단계별로 나누어 모듈화를 하였고, 각각의 모듈은 독립적으로 혹은 통합하여 수행할 수 있도록 하였다. 이런 방식은 작업을 단순화시키며 또한 시스템의 효율성을 높여준다.

평면변형 H-형재 열간단조품의 공정 및 금형설계를 위하여 본 연구에서 개발된 시스템은 3개의 모듈 즉, 공정설계 모듈, 금형설계 모듈, 시뮬레이션 모듈로 구성되었으며 시스템의 개괄적인 블록 다이어그램은 Fig. 1 과 같다.

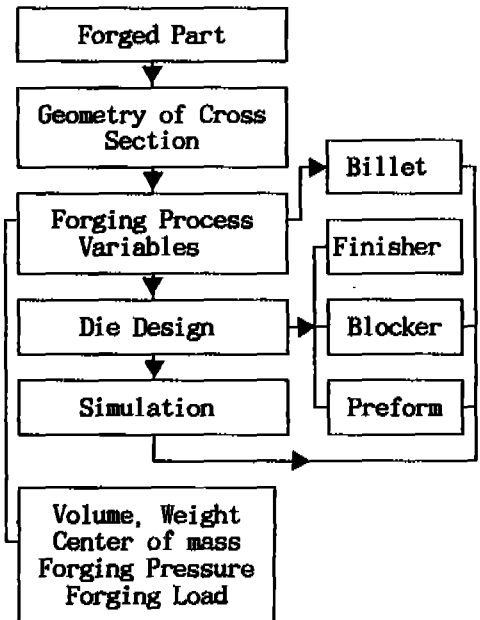


Fig.1 Block Diagram of hot Forging System

2.1 공정설계 모듈

공정설계모듈은 3개의 부모물로 나뉘어 수행된다. 첫 번째 부모물은 입력된 형상을 시스템내에서 처리할 수 있는 데이터로 바꾸는 모듈이다. 여기서 형상을 입력하는 방법은 AutoCAD 편집상태에서 도면화된 최종형상을 저장하여 이 파일로부터 직접입력을 받는다. 입력된 형상을 프로그램에서 취급하기 위하여 형상데이터는 두 가지 형태로 저장된다. 한 가지는 제품의 수직방향 단면의 외형을 각 도면요소애 따라 도면요소의 명칭과 함께 양단의 끝점과 중심점의 좌표를 직교좌표로 저장한다. 다른 한 가지는 최종형상으로부터 웹브를 구성하는 부분과 리브를 구성하는 부분으로 형상을 분할하여 각 필요한 실제 치수를 리스트로 저장한다.

두번째 부모물은 데이터베이스와 형상에 관한 정보를 이용하여 공정설계를 위한 변수들을 계산하는 모듈이다. 이 모듈에서는 램운동방향의 단면적, 단조품의 체적, 질량중심, 최대폭 및 최대높이, 형상난이도인자 등을 계산하고 빌렛의 형상과 치수를 결정한다. 빌렛의 체적은 단조품의 체적에다 스케일량과 플래시량을 더한 양이다.

세번째 부모물은 위의 공정변수들을 이용하여 이 제품을 성형하는데 필요한 공정수와 예비성형체 혹은 블록커의 형상과 치수를 설계하는 예비성형체설계 모듈이다. 이때 프로그램에 구축되어 있는 설계규칙을 이용하여 각 단계의 형상과 치수를 설계한다. 여기서 예비성형체나 혹은 블록커의 체적은 스케일량을 제외한 빌렛의 체적과 동일하다.

2.2 금형설계 모듈

금형설계 모듈은 공정설계에서 결정된 각 공정에 대

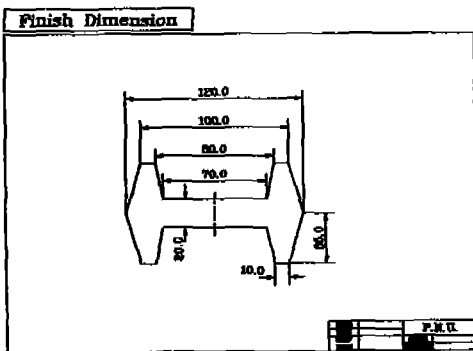


Fig.2 Drawing Output for Final Product

한 다이를 설계하는 모듈이다. 먼저 최종다이를 설계하는 모듈이 수행되며 이 모듈에서는 플래시의 형상 및 치수, 플래시거더의 형상과 치수, 다이 블록의 폭과 높이 등이 결정된다. 여기서 최종다이의 플래시거더를 포함한 캐비티의 체적은 빌렛의 체적보다 커야 한다. 예비성형 혹은 블록커다이를 설계하는 모듈에서는 플래시와 플래시거더의 형상은 설계되지 않고 캐비티의 형상만을 고려하며 다이블록의 높이와 폭은 최종다이의 높이와 폭과 동일한 크기로 설계된다. 이 모듈에서는 각 단계마다 상·하 다이가 각각 분리되어 혹은 조립되어 도면화된다.

3. 시스템의 적용 및 결과

3.1 시스템의 적용

본 연구에서 개발된 H-형재 열간단조품의 공정 및 금형설계 시스템의 설계과정을 Fig.2와 같은 최종부품에 대하여 적용해 보고 그 결과를 고찰하고자 한다.

Fig.2는 재료가 알루미늄 1100(밀도: 2.71 g/cm³, 비열: 0.214 cal/g°C이며 그리고 유동응력에 관해서는 참고문헌(3, 4)로부터 얻어졌다.)으로 리브높이/폭의 비가 2.5인 최종부품을 나타낸다. 이 부품을 성형할 때의 초기 소재온도가 500°C, 초기 다이온도는 200°C로 하였다. 그리고 웹브폭은 70.0mm이며, 웹브두께는 20.0mm이다.

Fig.3은 빌렛의 높이대 폭의 비가 1.0인 경우의 빌렛의 형상과 치수를 도면화하여 출력한 결과를 보여준다. 빌렛의 치수는 설계규칙으로부터 사용자가 빌렛의 폭을 입력하는 방법, 단조비를 입력하는 방법 그리고 빌렛의 높이대 폭의 비를 입력하는 방법 등에 의하여 결정된다.

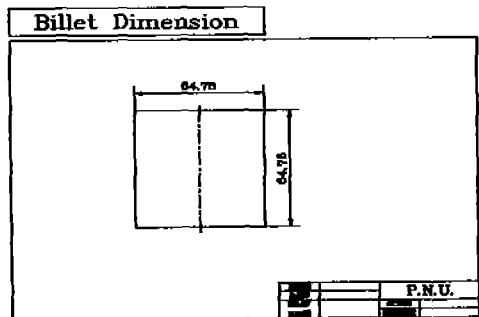


Fig.3 Drawing Output of Billet

Table 1은 최종부품을 성형하고자 할 때의 공정변수들의 출력결과를 보여 주는데 여기서 형상난이도 인자는 2.693이고 리브높이대 폭의 비는 2.5로부터 한 공정이 추가됨을 알 수 있다. 일반적으로 H-형재의 단조품에 대하여 형상난이도 인자가 2.5 이상이거나 리브높이대 폭의 비가 2.0 이상이면 한 공정으로는 성형할 수 없다. (5) 또한 성형재료가 알루미늄 1100이므로 산화량(scale loss)은 0이다.

Table 1 Data Output of Process Variables

PROCESS VARIABLE OUTPUT		
Variables	Units	Value
Product V	mm ³ /mm	3950.000
Product Mass	kg/mm	0.0107045
Scale Loss V	mm ³ /mm	0.0
Flash Loss V	mm ³ /mm	197.500
Billet V	mm ³ /mm	4147.500
Billet Mass	kg/mm	0.0112397
Flash T	mm	4.0
Flash Land W	mm	12.50
Shape Factor		2.6925

where V : Volume
T : Thickness
W : Width

Fig. 4는 최종다이를 소재없이 밀폐시켰을 때의 형상을 나타낸다. 플래시두께와 폭, 플래시거티의 형상이 설계규칙으로부터 결정된다.

Fig. 5는 최종단조품으로부터 설계된 예비성형체를 도면화하여 출력한 결과이며 여기서 리브높이대 폭의 비는 1.0 이하로 감소하였으며, 웹의 두께는 32.05mm로

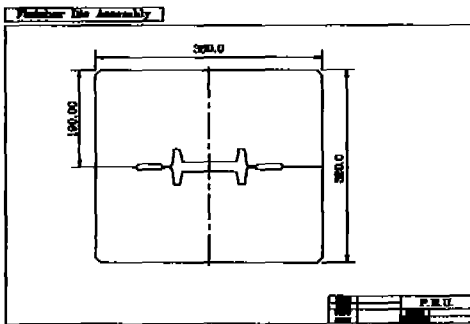


Fig. 4 Drawing Output Finisher Die

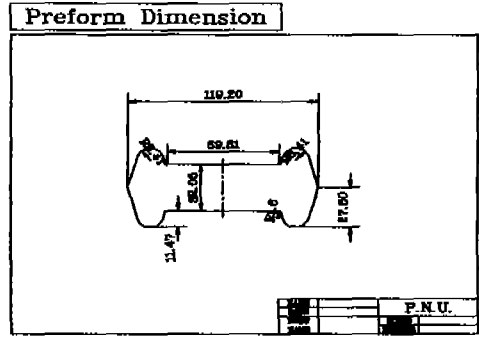


Fig. 5 Drawing Output of Preform

커진 것을 알 수 있다. 따라서 웹부분의 체적이 리브를 채움을 알 수 있다.

Fig. 6은 리브높이대 폭의 비가 2.5인 최종부품에 대하여 예비성형체를 성형하는데 필요한 상·하 예비성형다이의 조립도의 출력결과를 나타낸다. 여기서 예비성형다이의 다이블록의 치수는 최종다이의 다이블록의 치수(폭과 높이)와 동일한 치수가 적용된다.

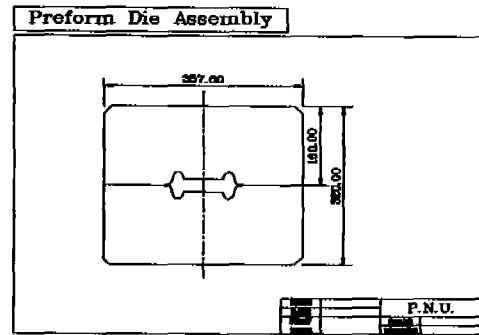


Fig. 6 Drawing Output of Preform Die

Fig. 7은 빌렛을 최종다이에 한 공정으로 성형하였을 때의 소재의 유동모양과 그 때의 하중대 행정선도를 나타낸다. 여기서 최종단계의 리브부분에서 채워지지 않음이 발생하여 한 공정으로 성형되지 않으며 따라서 예비성형체의 설계가 필요함을 알 수 있다.

Fig. 8은 빌렛으로부터 예비성형체를 성형할 때의 소재의 유동모양과 그 때의 하중대 행정선도를 나타낸다. 예비성형공정이 한 공정으로 추가되었을 때 빌렛으로부터 예비성형체의 성형은 결함이 없이 성형됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 예비성형체를 소재로하여 최종다이에 성형

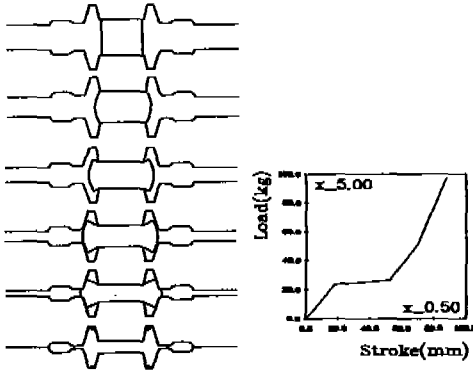


Fig. 7 Output for Simulation (Billet : Finisher Die)

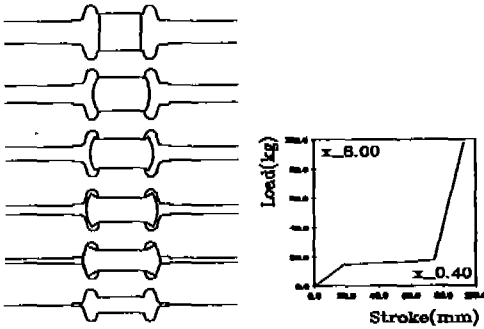


Fig. 8 Output for Simulation (Billet : Preform Die)

할 때의 소재의 유동모양과 그 때의 하중/행정선도를 나타낸다. 예비성형체를 최종다이에서 성형할 때 완전한 다이채움을 볼 수 있다.

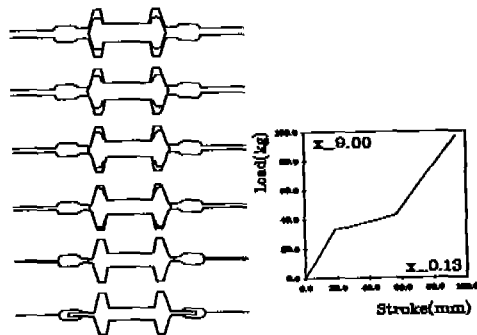


Fig. 9 Output for Simulation (Preform : Finisher Die)

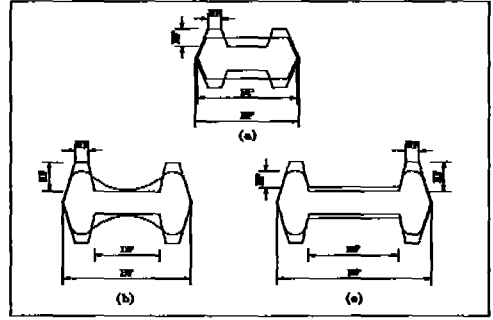


Fig. 10 Preform Design for H-shaped Section

3.2 예비성형체설계 적용결과

Fig. 10 (a), (b) 및 (c)는 최종부품과 그에 따른 예비성형체의 형상을 나타낸다.

Fig. 10 (a)는 최종부품의 리브높이대 폭의 비가 2.0 이하인 경우의 예비성형체 설계방법이다. Fig. 10 (b)는 최종부품의 리브높이대 폭의 비가 2.0 이상이며, 웨브 폭이 짧은 경우의 예비성형체의 설계방법이다. Fig. 10 (c)는 최종부품의 리브높이대 폭의 비가 2.0 이상이며 웨브폭이 긴 경우의 예비성형체 설계방법이다. 이전에 제시된 설계규칙에서는 이와같이 정성적으로 설계방법이 제시되었는데 개발된 시스템을 이용하여 설계를 수행해 본 결과 웨브폭대 리브높이의 비에 따라서 설계가 제한됨을 알 수 있었다. 즉, 웨브 폭대 리브높이의 비가 2.5 이하인 경우에는 Fig. 10 (b)와 같은 방법으로 설계가 가능하며, 2.5 이상인 경우에는 Fig. 10 (c)와 같은 방법으로 설계가 가능함을 알 수 있었다.

또한 Table 2에는 최종부품의 리브높이대 폭의 비와 예비성형 공정수에 따라 제안된 예비성형체 설계방법의 설계한계를 나타낸다.

Table 2는 제시된 공정수, 최종제품의 리브높이대

Table 2 Limited Values of Preform Process
 $X_1, X_2, \dots, X_n = (0.6-0.8)$

Hf Wf	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \dots, X_n = Rat_{cr}$
2.0	$Rat_{cr} \geq 0.60$
2.5	$Rat_{cr} \geq 0.56$
3.0	$Rat_{cr} \geq 0.49$
3.5	$Rat_{cr} \geq 0.48$

폭의 비 그리고 X_i 에 따른 Rat_{cr} 의 범위를 나타낸다. 여기서 X_i 는 $i-1$ 번째 예비성형체의 리브높이에 대한 i 번째 예비성형체의 리브높이의 비를 나타내며 그 값은 0.6~0.8 사이의 범위이다.

따라서 이전에 제안된 설계방법으로 예비성형체를 설계하고자 할 때, 최종부품의 리브높이대 폭의 비가 2.0 이상인 경우에는 예비성형공정수를 추가해도 Rat_{cr} 이 0.60 보다 큰 범위에서만 예비성형체가 설계되며 최종부품의 리브높이대 폭의 비가 2.5인 경우에는 Rat_{cr} 이 0.56 보다 커야하며 3.0인 경우에는 0.49 보다 커야하며 3.5인 경우에는 0.48 보다 커야 예비성형체가 설계된다. 따라서 공정수에 따라 이전에 제시된 설계방법으로 설계할 수 있는 예비성형체의 설계가능성을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 프레스에 의하여 성형되는 평면변형 H-형재의 열간단조 공정설계, 금형설계 및 시뮬레이션 프로그램을 개발함에 있어서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 평면변형 H-형재의 열간단조 공정 및 금형설계에 필요한 기술 및 경험을 규칙형태로 정량화 하였으며, 설계방법을 체계화하였다.
- 2) 정량화된 규칙을 이용하여 평면변형 H-형재 부품의 공정설계(설계변수 및 예비성형체설계), 금형설계 그리고 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.
- 3) 최종단조품의 리브와 웨브의 크기 그리고 공정수에 따라 가능한 예비성형체 형상 및 설계가능성을 제시하였다.

참고문헌

1. K. Lange, Handbook of Metal Forming, McGRAW-Hill Book Company, pp.11.1~11.123, 1985.
2. A. M. Sabroff, F. W. Boulger, H. J. Henning, Forging Materials and Practices, Reinhold Book Corporation, pp.61~111, 1968.
3. T. Altan, F. W. Boulger, N. Akgerman, J. R. Becker, H. J. Henning, Forging

- Equipment, Materials and Practices, Metals and Ceramics Information Center pp.111~175, 1973.
4. T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, Metal Forming : Fundamentals and Applications, American Society for Metals, pp.143~187, 1983.
5. G. B. Yu and T. A. Dean, "A Practical Computer-Aided Approach to Mould Design for Axisymmetric Forging Die Cavities". Int. J. MTDR, Vol. 25, No. 1, pp.1~13, 1985.
6. S. K. Biswas, W. A. Knight, "Preform Design for Closed Die Forgings : Experimental Basis for Computer Aided Design", Int. J. MTDR, Vol. 15, pp.179~193, 1975.
7. T. L. Subramanian, N. Akgerman, T. Altan, "Computer-aided Preform Design for Precision Isothermal Forging", Annals of CIRP, pp.198~203, 1978.
8. K. R. Vemuri, "A Knowledge-Based Approach to automate geometric design with application to design of Blockers in the forging process", Int. J. MTDR, 1986.
9. T. Altan, H. J. Henning, A. M. Sabroff, "Forging Loads and Stresses in Closed-Die Forging : Part One and Part Two", Construct DAAG 46-68-c-0111, Battelle Memorial Institute, pp.1~39, 1969.
10. S. H. Choi and T. A. Dean, "Computer aids to Data Preparation for Cost Estimation", Int. J. MTDR, Vol. 24, No. 2, pp.105~119, 1984.
11. M. Abebe, "Simulation of Plane Strain H-Shape Forging Using Non-FEM Method", Advanced Technology of Plasticity, Vol. II, pp.1097~1104
12. 최재찬, 김병민, 김성원, 이종수, 홍성석, 김남환, "축대칭 부품에 대한 열간단조의 공정 및 금형설계에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제1권, 제1호, pp.20~32, 1992.