

## 축대칭 열간단조를 위한 자동설계 시스템 개발

김대영, 박종진

홍익대학교 공과대학 기계공학과

### Development of an Automatic Design System for Axisymmetric Hot Steel Forging

Dae-Young Kim, Jong-Jin Park

Department of Mechanical Engineering, Hong-Ik University

#### Abstract

A hot forging product in general is produced through buster, blocker and finisher processes. Usually the processes including dies are designed by experienced forging engineers. However, due to the lack of such engineers, it is necessary to develop expert systems with which engineers of little experience can perform the design task. In the present study, an expert system is developed for axisymmetric hot steel forgings. It is a rule based system written in Fortran and AutoLISP, operating on a personal computer. In this paper, structures of the system are summarized and capabilities of the system are examined through several examples.

**Key Words:** forging process design(단조공정설계), expert system(전문가 시스템), hot forging(열간단조), steel forging(강단조)

#### 1. 서 론

일반적으로 단조품은 버스터, 블락커, 피니셔 공정을 거쳐 성형된다. 이러한 공정설계는 주로 숙련된 설계자의 경험과 판단에 의존하고 있다. 하지만 종종 잘못 설계된 금형으로 인하여 과도한 단조하중, 다이마모, 금형파괴, 미충진, 유동결함 등의 문제가 발생되고 이러한 경우 재설계 및 이에 따른 금형의 재가공 등 경제적인 손실을 초래하게 된다. 또한 선진국에서는 숙련된 금형설계자들이 감소하고 우리나라에서는 설계경험이 부족함으로 인하여 많은 경우 금형설계를 외국에 의존하고 있다. 따라서 이러한 문제점들을 최소화하고 설계작업을 단시간에 자동적으로 수행할 수 있는 전문가 시스템의 개발이 요구되고 있다.

전문가 시스템의 개발은 여러 분야에서 진행되고 있는데, 특히 공정설계 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. CAD/CAM 및 인공지능(Artificial Intelligence ; AI)언어를 이용하여 지식베이스 시스템(Knowledge Based System ; KBS) 또는 규칙베이스 시스템(Rule Based System)에 기초한 전문가 시스템 개발이 주종을 이루고 있다. 소성가공 분야에서는 Gokler<sup>(1)</sup> 등에 의한 열간 업셋 단조에 대한 공정순서 및 다이설계 시스템, Knight<sup>(2)</sup>, Bariani<sup>(3)</sup> 등에 의한 축대칭 다단 냉간단조의 지식베이스 시스템, Kim과 Altan<sup>(4)</sup> 등에 의한 다단 냉간 단조의 지식베이스 시스템 등이 있다. 국내의 주용선<sup>(5)</sup>, 김홍석<sup>(6)</sup>과 윤성만<sup>(7)</sup>도 냉간 단조 공정설계 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 강을 소재로 하여 축대칭 열간단조시 금형설계와 도면작성을 자동으로 수행

하는 전문가시스템을 개발하였다. 열간단조 제품의 형상은 냉간단조와는 달리 기하학적 형상을 정식화된 도형으로 표현하기가 어렵다. 따라서 본 시스템에서는 제품의 형상을 AutoCAD 상에서 입력받아 도면요소 데이터베이스를 추출하고 각 포인트의 위치 관계로부터 형상을 인식하여 설계틀을 적용하게 하였다. 이를 위하여 실무자의 경험과 문헌의 자료를 수합하여 공정설계에 필요한 변수들에 대한 정보를 수합하였고, DOS와 Windows 환경의 PC에서 AutoCAD와 연계하여 작동할 수 있도록 FORTRAN과 AutoLISP 언어를 사용하여 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 추후 유한요소해석 기술과 연계하여 축대칭 열간단조의 공정설계와 금형설계를 신속하게 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 피니셔 설계

축대칭 열간 강단조에서의 피니셔 설계에서 고려하여야 할 주요변수는 형분리선의 선택, 최소 리브와 최소 웹 두께, 드래프트 각, 코너 반경과 필렛반경, 플래쉬 크기, 단조하중등이다. 본 시스템에서 사용한 이러한 변수들을 참고문헌<sup>(8, 10)</sup>에 요약되어 있다. 본 시스템의 피니셔 설계부분은 Fig.1과 같이 구성되어있다.

부 프로그램 1에서는 최종 기계가공 부분형상과 단조조건을 입력받는다. 사용자는 메뉴를 따라 단조 타입, 단조기 종류, 단조기 용량, 단조 소재, 소재 온도, 다이 온도, 마찰계수, 다이 속도를 입력할 수 있다. 기계가공도면 형상입력방법은 이미 저장된 도면 파일을 불러들이거나 사용자가 직접 도면화 하는 방법이 있으며, 도면요소 데이터베이스(x-y 좌표, 반경)를 에디터(editor)를 사용하여 직접 작성하는 방법도 있다. 사용자가 도면화하여 기계가공도면을 입력할 때는 형상의 절점수와 기계가공 여유 치수를 입력하고 파팅라인의 위치를 선택하게 하였으며 파팅라인의 위치는 윗 부분, 가운데 부분, 아랫 부분은 자동으로 인식할 수 있으며 사용자가 자유롭게 선택할 수 있게 구성하였다.

부 프로그램 2에서는 입력된 기계가공 형상에 기계가공 여유, 드래프트 각, 코너반경, 필렛반경 등 피니셔 룰을 적용시킨다. 이러한 피니셔 룰을 적용하기 위해서는 도면요소 데이터베이스로부터 기계가공 부분의 형상을 인식하는 작업이 필요하다. 두 직선의 사이 각( $\theta$ )을 벡터 내적을 통하여 구하고  $\theta > 180$  인 경우는 코너 룰을,  $\theta < 180$  인 경우에는 필렛 룰을 데이터베이스로부터 추출하여 적용하게 하였다. 그리고 각각의 리브 높이 대 폭의 비를 계산하여 리브의 폭이 너무 좁은 경우에는 최소 리브 두께를 적용하여 리브의 폭을 증가시켰다. 기존의 연구<sup>(11)</sup>에서 피니셔 룰 적용시 몇 가지 오류가 발생하는 것이 확인되었는데 이를 정리하면 첫째는 큰 코너반경의 적용으로 인하여 기계가공 부분과 겹치는 경우이고 둘째는 립 사이의 간격이 너무 좁아 드래프트 각 적용시 립이 서로 겹치는 경우이다. 마지막으로 코너-코너, 필렛-필렛, 코너-필렛 반경이 서로 겹치는 경우이다. 부 프로그램 3은 피니셔 설계시 이러한 오류를 검토하고 수정하는 프로그램이다.

부 프로그램 4와 5에서는 피니셔의 체적 및 성형하중을 계산한다. 피니셔의 체적을 계산할 때는 먼저 피니셔의 형상을 함수화하고 미세 링요소로 나눈 후, 각각의 체적을 계산하여 더하는 방법을 사용하였다. Fig.2는 피니셔 설계 결과를 AutoCAD 상에 출력시킨 것이다. 피니셔 설계 결과는 (a)의 피니셔 형상만 나타내는 형태와 (b)의 피니셔와 플래쉬를 포함한 형태로 출력할 수 있다. 부 프로그램 6은 단조설계 결과를 AutoCAD 상에 출력시키는 프로그램으로 AutoLISP으로 구성하였다. 본 연구에서 개발한 시스템을 사용하여 여섯가지의 대표적인 기계가공도면에 적용하여 얻은 단조설계 결과를 Fig.3에 나타내었다. 그림에서 볼 수

있듯이 여섯가지 경우에 대하여 모두 성공적으로 수행되는 것을 알 수 있다.

### 3. 블락커 설계

형단조 설계에서 가장 중요한 것 중 하나는 블락커 설계이다. 적절한 블락커를 통하여 피니셔 공정에서 결함이 없는 금속유동을 발생시킬 수 있고, 금형을 완전히 충전시킬 수 있으며, 플래쉬로 나타나는 소재손실을 최소화할 수 있다. 또한 피니셔 단조시 유동을 감소시켜 금형마모를 최소화하고 원하는 단류선을 얻음으로써 기계적 성질을 향상시킬 수 있다.

블락커 설계를 위해서 경험적인 법칙들을 추출하거나 전문가 시스템을 구축하려는 여러 가지 연구가 수행되었다. H형 단면을 가진 축대칭 제품에 대해 Bruchanov와 Rebelski<sup>(12)</sup>는 필렛 반지름, 블락커 넓이와 높이 등의 설계기준을 정량적으로 제시하였고, Subramanian<sup>(13)</sup>은 축대칭 피니셔의 단면을 L형상으로 나누고 각 형상을 여러 가지 기하학적 변수들로 기술하고 블락커의 단면을 구하였다. Biswas와 Knight<sup>(14)</sup>는 지수함수 곡선을 사용하여 축대칭 단조조의 블락커 반지름을 결정하였다. Vemuri 등<sup>(15)</sup>은 지식베이스 시스템을 사용하여 블락커 설계를 자동화하였다. 윤성만<sup>(16)</sup>은 피니셔의 형상을 Fourier 급수 형태로 전개한 후 높은 주파수 영역을 저역 통과 필터를 사용하여 제거하는 방법으로 3차원 형상에 대한 블락커 설계를 수행하였다.

본 연구에서는 피니셔에 형상변화율(SF; Shape Factor)과 체적 변화율(VF; volume factor)의 개념을 도입하고 지식베이스 시스템을 이용하여 경험법칙을 기본으로 추출한 블락커 룰을 적용한 후 블락커의 체적을 피니셔와 플래쉬 체적의 합과 동일하게 조절하는 방법으로 블락커 설계를 수행하였다. 그리고 본 시스템에서 설계된 블락커에 대하여 강점소성 유한요소 해석을 수행하여 타당성을 분석하였다. 본 연구에서 수립된 블락커 설계 룰은 참고문헌<sup>(17)</sup>에 요약되어 있다.

본 시스템은 축대칭 열간단조시 블락커 설계를 자동으로 수행하는 기능을 가지고 있으며 Fig.4와 같이 7개의 부 프로그램으로 구성되어 있다. 부 프로그램 1에서는 파팅라인을 기준으로 피니셔 상부금형 깊이, 하부금형 깊이까지의 평균 높이를 구하고 사용자가 입력한 SF를 적용하여 블락커 립의 높이와 웨의 두께를 결정하고 각각에 대한 블락커 룰을 적용한다. 부 프로그램 2에서는 블락커 룰 적용으로 인하여 코너-코너, 필렛-코너, 필렛-필렛이 겹치는 오류의 발생여부를 검토하고 수정한다. 부 프로그램 3에서는 블락커의 상부다이, 하부다이를 이동시켜 블락커 체적을 피니셔 체적에 VF를 적용시킨 값과 동일하게 조절한다. VF가 100일 때 블락커 체적은 피니셔의 체적과 피니셔 플래쉬 체적을 합한 값과 동일하게 된다. 피니셔 립의 높이 대 두께 비가 높을수록 립 부분의 성형이 어려워지는데 이는 블락커 형상을 변화시키거나 블락커 체적을 증가시켜 완벽하게 충전되게 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 축대칭 형상을 대상으로 하므로 체적계산은 블락커의 형상을 함수화하고 미세한 사각단면요소로 나눈 후, 각각 원통의 체적을 계산하고 적분하는 방법을 사용하였다. 부 프로그램 4는 피니셔 공정시 다이스트록을 계산하는 프로그램이며 피니셔 금형이 블락커와 접촉하는 부분을 알 수 있게 피니셔 금형을 이동시킨다. 부 프로그램 5는 블락커 설계 결과를 AutoCAD 상에 출력시키는 프로그램으로 AutoLISP으로 구성하였다. 부 프로그램 6은 사용자가 원하는 버스터와 초기소재의 지름을 입력하면 이를 바탕으로 하여 버스터와 초기소재의 높이를 계산하는 기능을 수행하고 부 프로그램 7에서는 기계가공 도면으로부터 초기소재까지의 전체적인 공정설계를 출력시키는 기능을 수행한다.

본 연구를 통하여 설계된 블락커의 타당성을 검증하기 위하여 Fig.5의 피니셔를 대상으로 여섯가지 블락커를 설계하고 이에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 소재와 금형의 온도는 각각 1000℃와 200℃이고 소재는 AISI 4340 이다. 유한요소해석은 상용 프로그램인 DEFORM을 사용하였으며 비등온조건으로 수행하였다. Fig.6에 다섯가지의 VF와 SF의 조합으로 설계된 블락커가 도시되어있다. Fig.7은 이 다섯가지 블락커를 피니셔 단조한 경우와 블락커없이 피니셔금형을 사용한 경우에 대한 유한요소해석 결과이다. (a)는 VF=100, SF=50을 사용한 경우이며, (b)는 VF=100 그리고 블락커를 사용하지 않은 경우이다. 두 경우 모두 립 부분에 미충진이 발생하는 것을 볼 수 있다. (c)는 VF=110, SF=50을 사용한 경우이며, (d)는 VF=110 그리고 블락커를 사용하지 않은 경우이다. 왔다. 두 경우 모두 완벽한 성형이 되지만 플래쉬로 빠져나오는 소재의 양이 매우 많은 것을 알 수 있다. 따라서 플래쉬로의 소재 손실, 금형마모와 단조하중을 최소화하고 립의 완벽한 충진을 위하여 (e)는 VF= 100, SF=30 그리고 (f)는 VF=100, SF=40으로 설계한 경우이다. 그림에 나타난 바와 같이 플래쉬로 나가는 양이 매우 작고 립 부분에도 완벽한 충진이 되어 블락커 설계가 성공적으로 수행된 것을 알 수 있다. Fig.8에는 전체적인 열간단조 공정설계를 출력시킨 결과를 나타내었다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 자동공정설계 시스템을 유한요소해석과 연계하여 사용하면 블락커 설계를 용이하게 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 강의 축대칭 열간단조 공정설계를 자동적으로 수행할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 기계가공도면으로부터 적절한 단조공정과 금형도면을 자동적으로 출력하는 룰 베이스 시스템이다. 이 시스템에 사용된 단조설계 룰은 현장경험자의 조언과 문헌조사를 통하여 수합하였다. 설계 룰 적용시 발생하는 오류들은 프로그램 상에서 자동으로 판단하여 수정할 수 있게 하였다. 본 시스템에서는 피니셔를 기초로하여 블락커와 버스터의 설계를 수행하도록 하였다. 블락커 설계시에는 피니셔 형상에 체적 변화율과 형상 변화율을 적용하고 블락커 룰을 사용하였다. 본 시스템과 유한요소해석 기술을 연계하여 검토한 결과 완벽한 성형이 되는 공정설계와 금형설계를 수행할 수 있었다.

장래 연구로써는 평면변형 열간단조 설계 시스템을 개발하고 본 시스템과 연계하여 삼차원 단조공정 설계 시스템으로 발전시키는 것이다.

#### 5. 참고문헌

1. Gokler, M. I., Dean, T. A. and Knight, W. A., 1983, "Computer Aided Die Design for Upset Forging Machines", Proc. 11th NAMRC, pp.217~223
2. Davison, T. P. and Knight, W. A., 1984, "Computer Aided Process Design for Cold Forging Operations", Advanced Technology of Plasticity, Vol.1, pp.551~556
3. Bariani, P. and Knight, W. A., 1987, "Computer Aided Cold Forging Process Design: Determination of Machine Setting Conditions", Annals of CIRP, vol.34/1, pp.245~248
4. Kim, H. K. and Altan, T., 1992, "Computer Aided Part and Processing-Sequence Design in Cold Forging", J. of Materials Processing Technology, Vol.33, pp.57~74
5. 주용선, 냉간 중실형 다단압출 및 업세팅에 대한 전문가시스템 구축및 개발에 관한 연구, 충남대학교 석사학위논문, 1994

6. 김홍석, 축대칭형 제품의 냉간단조 공정설계용 전문가시스템 개발, 한국과학기술원 석사학위논문, 1994
7. 윤성만, 지식베이스 시스템을 이용한 중실 원형 제품의 냉간단조 공정설계, 서울대학교 석사학위논문, 1992
8. 단조기술연구소, 1991, 단조기술 핸드북, 세화출판사
9. Sheridan, S. A., 1972, Forging Design Handbook, ASM
10. Lange, K., 1985, Handbook of Metal forming, McGraw Hill
11. 김대영, 박종진, 1998, "축대칭 열간 강단조의 피니셔 설계시스템 개발", 한국소성학회 심사 중
12. Bruchanov, A. N. and Rebelski, A. V., 1955, "Closed-Die Forging and Warm Forging", German Translation from Russian, Verlag Technik, Berlin
13. Subramanian, T. L. et al., 1977, Application of Computer-Aided Design and Manufacturing to Precision Isothermal Forging of Titanium Alloys, Tech. Report AFML-TR-77-108, Air Force Material Labs., USA
14. Biswas, S. K. and Knight, W., 1976, "Towards an Integrated Design and Production System for Hot Forging Dies", Proc. 3rd Int. Conf. on Production Research, Amherst
15. Vemuri, K. R., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, "BID-A Knowledge-Based System to Automate Blocker Design", Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol.29, p.505
16. 윤성만, 박동진, 오진용, 오수익, 1994, "저역필터를 사용한 예비가공형설계", 한국소성가공학회, '94 추계학술대회 논문집, pp.118~132
17. 김대영, 박종진, 1998, "축대칭 열간 강단조의 블라키 설계 시스템 개발", 한국소성가공학회 심사 중

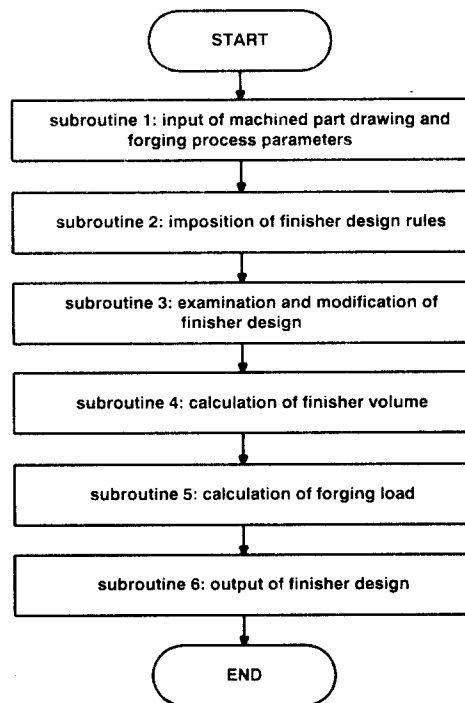


Fig.1 Structure of the finisher design system

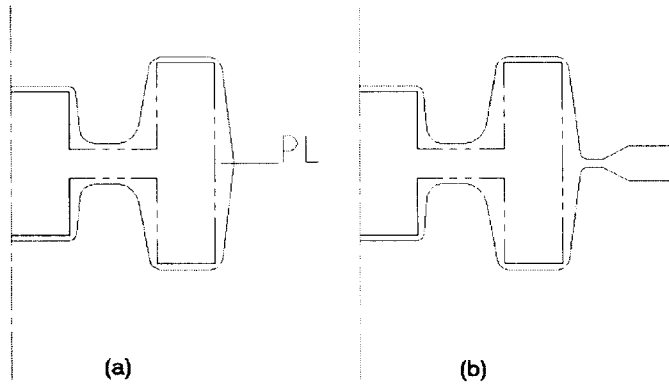


Fig.2 Output of finisher design: (a) finisher design, (b) finisher die design

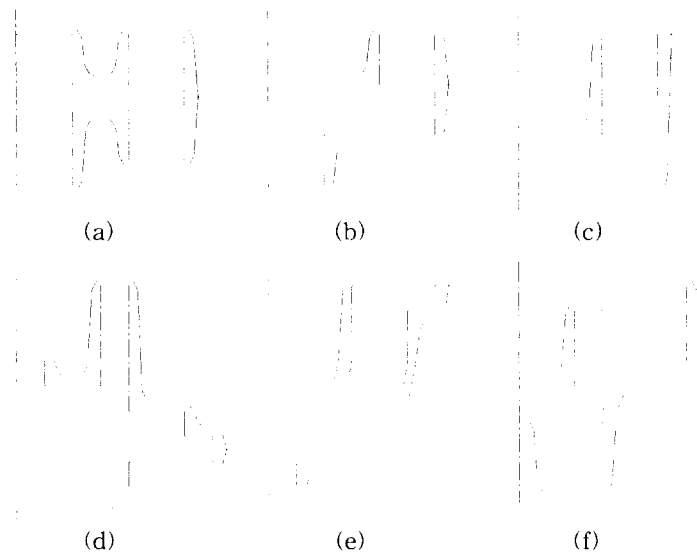


Fig.3 Several examples of finisher designs from the developed system:  
 (a) simple shape A, (b) simple shape B, (c) simple shape with parting line at the top,  
 (d) complex shape, (e) cup shape with parting line at the top, (f) hollow complex shape

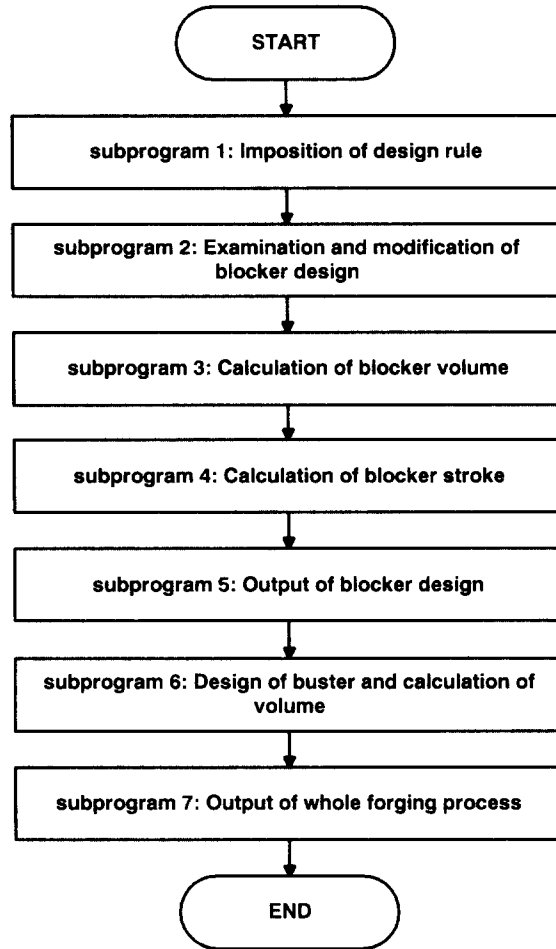


Fig.4 Structure of the blocker design system

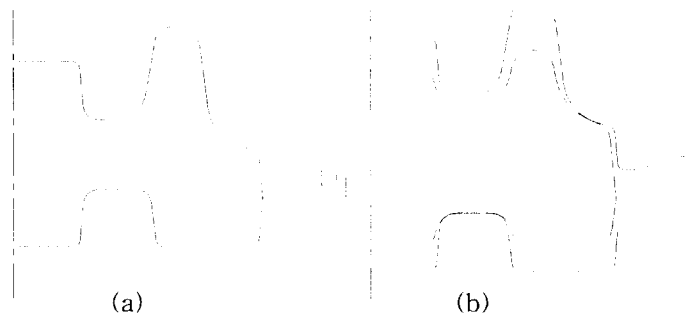
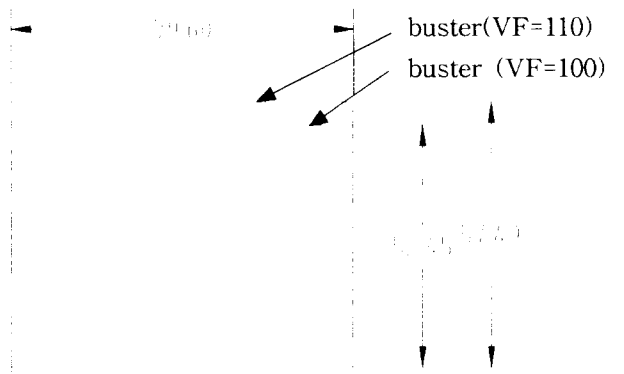
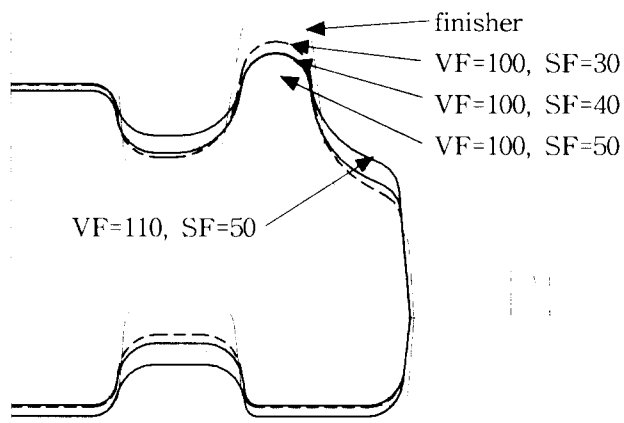


Fig.5 Example of a finisher: (a) finisher, (b) blocker in the finisher dies

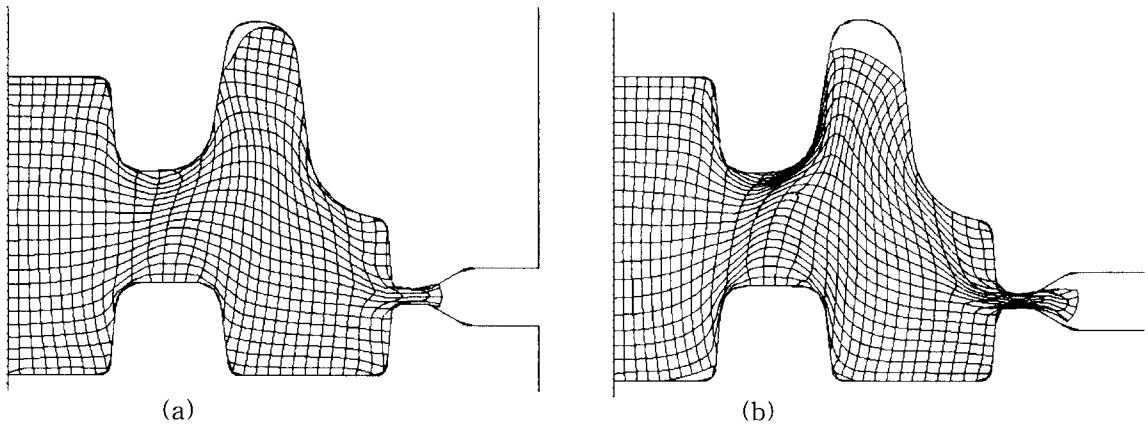


(a)



(b)

Fig.6 Preforms designed by different combinations of VF and SF:  
 (a) busters, (b) blockers





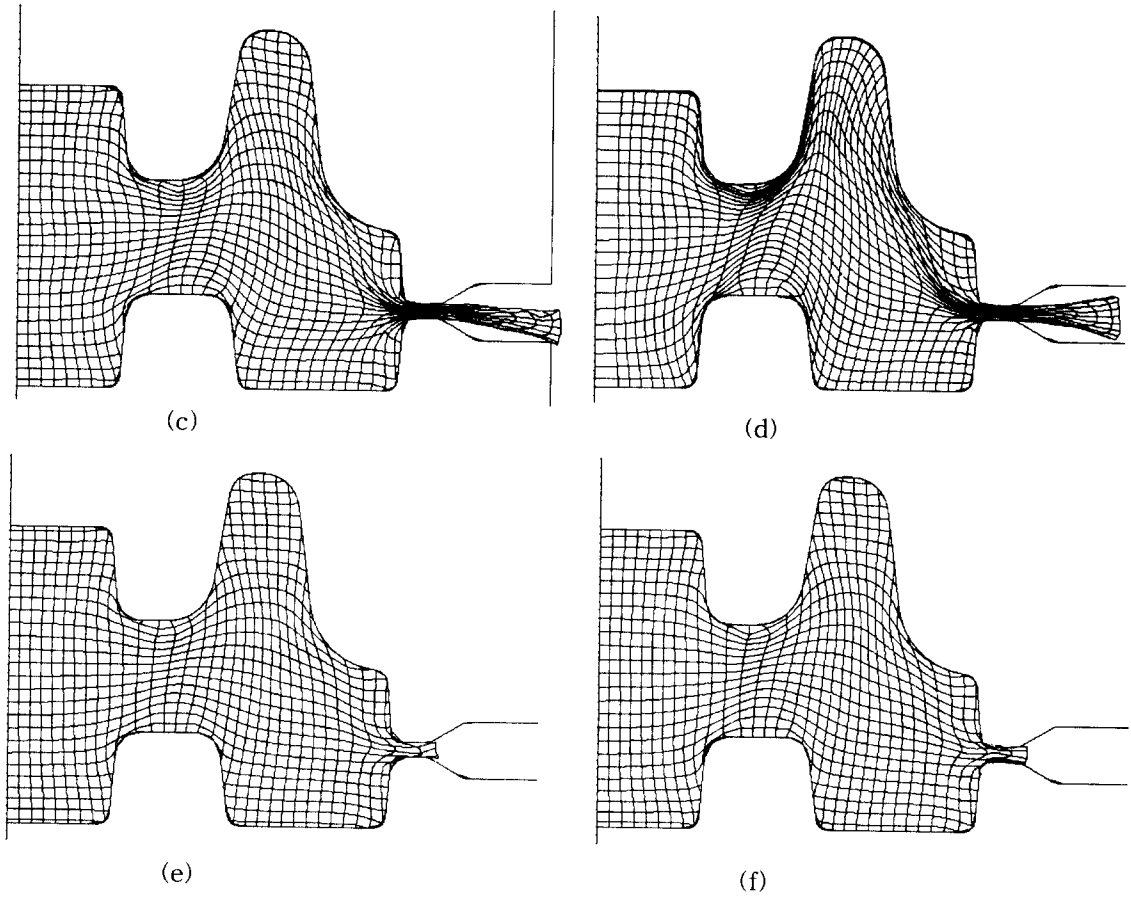


Fig.7 Predicted flow behaviors by FEM simulations for 6 different cases:  
 (a) VF=100, SF=50, (b) VF=100, no blocker, (c) VF=110, SF=50, (d) VF=110, no blocker,  
 (e) VF=100, SF=30, (f) VF=100, VF=40

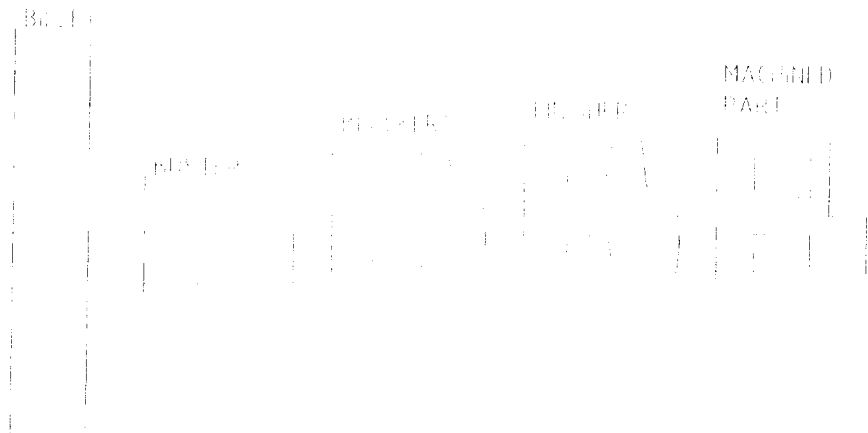


Fig.8 Output of a forging process designed by the system