

# 다양한 머리 형상을 갖는 체결구의 냉간 단조 자동 공정 설계 시스템

김 홍 석, 임 용 택  
한국과학기술원 정밀공학과

## Automatic Process Design System for Cold Forging of Fasteners with Various Head Geometries

Hong-Seok Kim and Yong-Taek Im  
Department of Precision Engineering and Mechatronics, KAIST

### ABSTRACT

In order to improve the productivity of cold forging at low production cost, an integrated system's approach is necessary in handling the material preparation and the optimum process design, considering the forming machines, tooling, and operation including quality control. As the first step toward this approach, an expert system for multi-stage cold forging process design for fasteners with various head geometries is developed using Prolog language on IBM 486 PC. For effective representation of the complex part geometries, the system uses the multiple element input, and the forward inference scheme in determination of the initial billet size and intermediate forging steps. In order to determine intermediate steps, the basic empirical rules for extrusion, heading, and trimming were applied. The required forming loads and global strain distributions at each forging step were calculated and displayed on the PC monitor. The designed process sequence drawing can be obtained by AutoCAD. The developed system will be useful in reducing trial and error of design engineers in determining the diameter and height of the initial cylindrical billet from the final product geometry and the intermediate necessary sequences.

### 1. 서 론

냉간 단조 분야에서 컴퓨터의 사용은 도면의 작성과 출력을 위한 CAD 시스템의 개발, 공정의 설계 및 평가를 위한 CAD/CAM 시스템의 개발 및 유한요소해석을 통한 공정의 모사 등 넓은 범위에서 활발하게 이루어지고 있다[1-6]. 그러나 실제 공정 설계에 이러한 컴퓨터 시스템이 적용되기 위해서는 복잡한 제품 형상까지도 표현할 수 있는 CAD 시스템과 신뢰성있는 공정을 설계할 수 있는 공정 설계 시스템 및 설계된 공정의 성형성을 평가할 수 있는 평가 시스템 등을 포괄하는 통합적 자동 공정 설계 시스템(Integrated Automatic Process Design System)의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 시스템의 현장 적응성을 높이기 위해 현재 단조 회사에서 주로 냉간 단조로 생산되고 있는 체결구(볼트류, 핀류 등) 중 다양한 머리 형상을

갖는 제품의 성형 공정을 설계하여 주는 자동 공정 설계 시스템을 개발하고자 한다. 시스템은 인공지능 언어인 PROLOG를 사용하여 PC에서 개발되었고 Fig.1과 같은 과정을 통해 공정을 설계한 후 상용 CAD 시스템인 AutoCAD를 이용하여 도면으로 출력시킨다. 개발된 시스템은 다양한 제품의 머리 형상을 표현하기 위하여 11개의 지정된 요소를 사용하는 다요소 입력 방식을 사용하였으며 설계 대상 형상은 중실형과 볼트형이다. 이러한 형상의 제품은 헤딩과 전방압출, 트리밍 공정으로써 성형되는데 각 공정의 설계 규칙은 문헌과 현장의 설계 전문가와의 인터뷰를 통하여 수집된 후 지식베이스화되었다.

## 2. 시스템의 구성 및 작동

### 2.1 공정 설계 규칙: 전방압출, 헤딩, 트리밍

지식 베이스에 저장된 설계 규칙은 참고문헌[7-10]을 통하여 수집된 후 현장의 설계 전문가와의 공동 작업을 통하여 수정, 보완되었다. 전방압출과 헤딩에 대한 설계 규칙은 이미 보고된 바[11-12] 있고 새로 추가된 트리밍 공정에 대한 설계 규칙은 다음과 같다.

- (1) 볼트에 와셔가 있다면 공정 순서는 전방압출, 헤딩, 형상 트리밍, 플랜지 트리밍으로 이루어 진다.
- (2) 볼트에 와셔가 없다면 공정 순서는 전방압출, 헤딩, 형상 트리밍으로 이루어 진다.
- (3) 초기 소재의 부피는 트리밍 예비 성형체의 형상을 통하여 결정된다.
- (4) 트리밍 예비 성형체는 헤딩의 마지막 단계에서 성형되며 예비 성형체의 형상은 Fig.2와 같은 설계 규칙을 통하여 결정된다.

### 2.2 시스템의 구성

개발된 시스템은 주요 구성부로서 지식베이스와 추론엔진, 작업메모리를 가지고 있다. 지식베이스는 소재의 물성치와 공정 설계 한계값 등을 저장하고 있는 소재 데이터베이스와 설계 규칙을 저장하고 있는 규칙베이스로 이루어져 있다. 추론엔진은 지식베이스에 저장된 자료나 규칙 등을 이용하여 판단을 내리며 그 결과를 작업메모리에 저장하는 역할을 수행하는데 개발된 시스템에서 작업메모리는 PROLOG 언어의 자료 저장 방식 중의 하나인 내부 데이터베이스 형식을 취한다.

개발된 시스템은 세가지의 주요 구성부 외에도 사용자의 편의를 위한 그래픽 인터페이스 모듈과 공정 변수의 계산을 위한 계산 모듈, 출력을 위한 도면 생성 모듈 등을 가지고 있다.

### 2.3 시스템의 작동

개발된 시스템의 작동 흐름도는 Fig.1과 같다. 주요 작업 모듈은 다음과 같은 작업을 수행하며 공정의 설계가 끝나면 도면을 출력시킨다.

**시스템의 입력:** 개발된 시스템은 최종 제품 형상을 표현하기 위하여 다요소 입력 방식을 사용한다. 다요소 입력 방식이란 제품 형상 표현에 이용되는 비교적 간단한 형상의 도형을 미리 결정한 후 도형의 정의에 필요한 데이터를 입력하는 방법이다. 개발된 시스템은 Fig.3과 같은 11개의 요소를 사용하여 제품 형상을 표현한다. 최종 제품 형상의 입력이 끝나면 소재의 종류를 입력하게 된다. 소재의 종류가 결정되면 그에 해당되는 값들만이 소재 데이터 베이스에서 작업 메모리로 넘겨져 사용된다.

**형상 그룹 결정:** 형상과 소재의 입력이 끝나면 제품 형상을 고려하여 형상 그룹을 결정하게 된다. 형상 그룹이란 성형의 관점에서 보았을때 동일한 특징을 가지고 있어 같은 유형의 설계 규칙을 적용할 수 있는 형상의 모임을 의미한다. 개발된 시스템의 형상 그룹은 중실형과 볼트형으로 이루어져 있다. 중실형 그룹은 리벳과 같이 헤드부를 가지는 형상과 양단으로 지름이 감소하는 형상으로 이루어져 있고 상면에 십자나 육각 등의 홈을 가지는 형상도 포함된다. 볼트형 그룹은 사각과 육각, 십이각 볼트로 이루어져 있고 중실형과 마찬가지로 상면에 홈을 가지는 형상도 포함된다.

중실형은 최종 제품의 부피와 초기 소재의 부피가 동일하지만 볼트형의 경우에는 트리밍 공정이 수행되기 때문에 초기 소재의 부피가 최종 제품의 부피보다 크며 결과로 공정 중에 부피의 변화가 생긴다. 따라서 두 형상 그룹은 각각 다른 설계 규칙을 적용시켜야 한다. 개발된 시스템은 형상 그룹에 따라 서로 독립적인 지식 베이스를 가지고 있으며 형상 그룹이 결정되면 해당되는 지식 베이스만이 가동되어 성형 공정을 설계한다.

**성형 공정 설계:** 형상 그룹이 결정되면 우선 초기 소재의 치수가 결정된다. 중실형의 경우 초기 소재의 부피는 최종 제품의 부피와 동일하므로 초기 소재 지름 결정법[12]에 따라 지름이 결정된 후 부피 계산에 의해 길이가 결정된다. 볼트형의 경우는 2.1절에 나타낸 설계 규칙에 따라 초기 소재의 부피가 우선 결정되고 중실형의 초기 소재 지름 결정과 동일한 과정을 통하여 치수를 결정한다.

초기 소재의 지름이 결정되면 최종 제품의 각 요소 지름과의 비교를 통하여 수행되어야 할 공정이 결정된다. 결정된 요소별 수행 공정은 작업 메모리에 저장되어 설계 규칙에 따른 순서가 되면 요소를 생성시킨다. 요소 생성 시 설계 규칙이 적용되며 생성 요소의 치수와 공정 단계 수가 결정되며 유효변형률과 성형 하중이 계산된다.

**생산 공정수의 감소를 위한 재설계:** 냉간 단조 공정에서 사용되는 다단성형기(multi-farmer)의 성형 가능 단수보다 많은 단계수를 갖는 생산 공정은 현장에서 사용이 불가능하다. 따라서 개발된 시스템에서는 설계된 기본 공정을 수정하여 보다 적은 단계수를 갖도록 재설계를 수행할 수 있도록 하였다. 공정수 감소를 위한 재설계는 병합을 통하여 수행되는데 가능한 성형 단계는 Fig.4와 같다.

### 3. 시스템의 적용

Fig.5는 육각 볼트 머리를 갖는 제품의 설계 공정으로서 초기 소재의 지름은 12mm이고 소재는 AISI1010을 사용하였다. 그림의 우측 상단에 계산된 요소단위 유효 변형률 분포를 나타내었고 하단에는 각 성형 단계에서의 성형 하중을 나타내었는데 시스템의 사용 시 화면에서 확인할 수 있다. 초기의 소재 절단을 제외하면 총 5단으로 성형이 수행됨을 알 수 있으며 4단 육각 트리밍에서 생성된 플랜지는 5단의 플랜지 트리밍에서 제거된다. Fig.6에는 Fig.5에서 설계된 공정의 성형 단계수를 줄이기 위하여 재설계된 공정을 나타내었다. 성형 단수의 감소는 기본 설계 공정의 1단과 3단을 병합시켜 이루어지는데 실제 생산에서는 Fig.5의 기본적인 공정보다 Fig.6의 공정이 유리할 수 있다. Fig.7에는 12각 볼트의 성형 공정 도면을 나타내었다. 공정 도면은 AutoCAD 시스템을 이용하여 작성된 것으로 전체 공정의 치수를 상세히 알 수 있다. Fig.8은 곡면 머리부를 갖는 제품의 성형 공정 도면을 나타낸 것으로 머리부는 최종 단계에서 헤딩을 통하여 성형됨을 알 수 있다.

### 4. 결 론

다양한 머리부를 갖는 체결구의 성형 공정을 설계할 수 있는 자동 공정 설계 시스템의 개발 과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 다요소 입력법을 사용함으로써 다양한 머리부를 갖는 제품의 형상을 원활하고도 효율적으로 표현할 수 있었다.
- (2) 볼트형 그룹의 지식베이스를 추가적으로 구축하는 과정에서 형상 그룹 고유의 독립적인 지식베이스 구조는 전문가 시스템 개발에 효과적임을 알 수 있었다.
- (3) 기본 설계 규칙을 통하여 설계된 공정에 수정을 가하여 보다 실용적인 공정을 얻을 수 있었고 공정 수정에 대한 보다 체계적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 1994년도 중소기업기술무상양허 과제의 일환으로 주식회사 진합정공과의 공동 연구를 통하여 이루어진 것으로 관계되시는 분들께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Bariani, E. Benuzzi and W.A. Knight, "Computer Aided Design of Multi-Stage Cold Forging Process : Load Peaks and Strain Distribution Evaluation," Ann. CIRP, Vol.36, 1987, pp. 145-148.
- [2] W. Makosch and K. Lange, "Application-Orientated CAD System for Multi-stage Tooling Design for Cold Forging," Proc. of 16th NAMRC, 1988, pp. 63-70.
- [3] K. Sevenler, P.S. Raghupathi, and T. Altan, "Forming-Sequence Design for Multistage Cold Forging," J. Mech. Working Tech., Vol.14, 1987, pp. 121-135.

- [4] K. Osakada, T. Kado and G. B. Yang, "Application of AI-Technique to Process Planning of Cold Forging," Ann. CIRP, Vol.37, 1988, pp. 239-242.
- [5] H. K. Kim and T. Altan, "Computer-Aided Part and Processing-Sequence Design in Cold Forging," J. Mater. Process. Technol., Vol.33, 1992, pp.57-74.
- [6] Kobayashi, S., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, "Metal Forming and the Finite-Element Method", Oxford University Press, New York.
- [7] K. Lange, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill, New York, 1985.
- [8] ASM Handbook Committee, "Metals Handbook, Vol.5, Forging and Casting", ASM, Metals Park, Ohio, 1970.
- [9] "National Forging Talks", 1981, National Machinery Co., Tiffin, Ohio.
- [10] "Part Shape Development and Tool Design for Multidie Cold Forming", National Machinery, Tiffin, Ohio.
- [11] 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조 공정 및 금형 설계의 자동화에 관한 연구(I)," 대한기계학회논문집, 제12권, 제4호, 1988, pp. 712-720.
- [12] 김홍석, 1994, "축대칭형 제품의 냉간 단조 공정 설계용 전문가 시스템 개발," 한국과학기술원 석사학위논문.

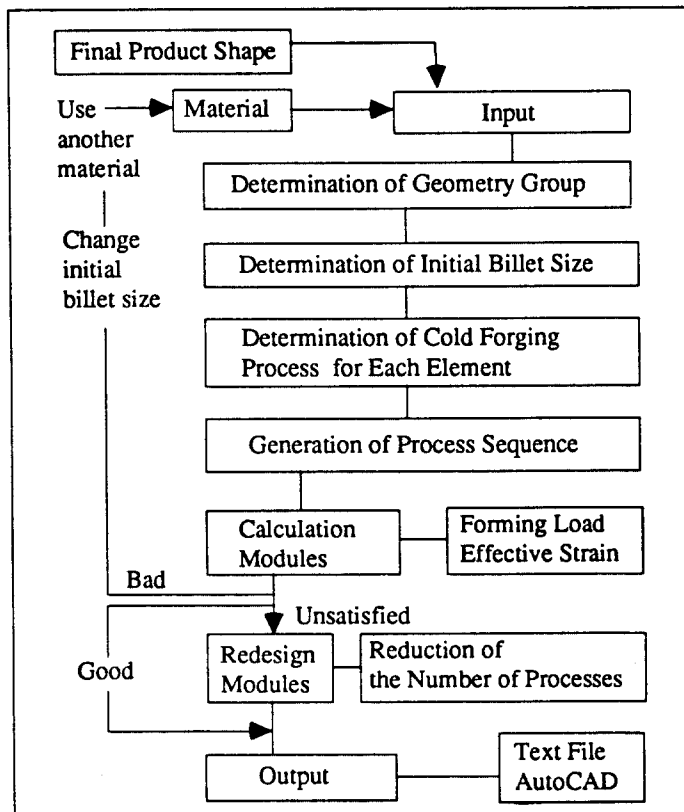


Fig.1 Flow chart of developed system.

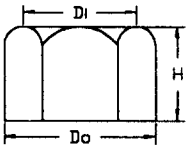
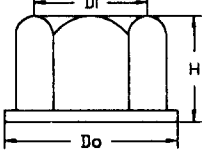
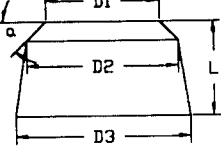
Bolt without Washer	Bolt with Washer	Preform Geometry	Relationship
			$D1 = D_i$ $D2 = D_o$ $D3 = D_o + \text{const.}$ $L = H$

Fig.2 Graphical representation of bolt head geometries and the rule for generating cold forgeable preform geometry.

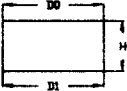
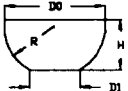
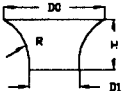
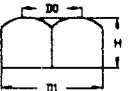
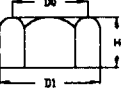
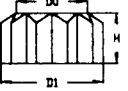
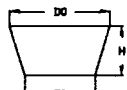
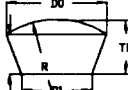
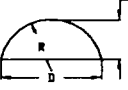
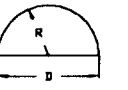
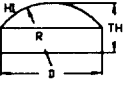
					
					

Fig.3 Available geometries of elements used for multiple element input system proposed in the currently developed expert system for cold forging of fasteners.

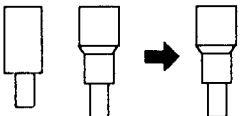
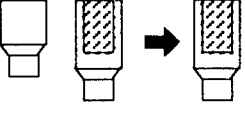
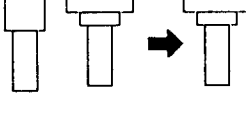
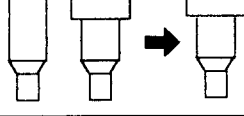
Process Name	Schematic Diagram	Process Name	Schematic Diagram
Double Operation		Combined Extrusion	
Multiple Heading		Heading Extrusion Operation	

Fig.4 Redesigning scheme used for reducing number of processes by combining possible forging sequences.

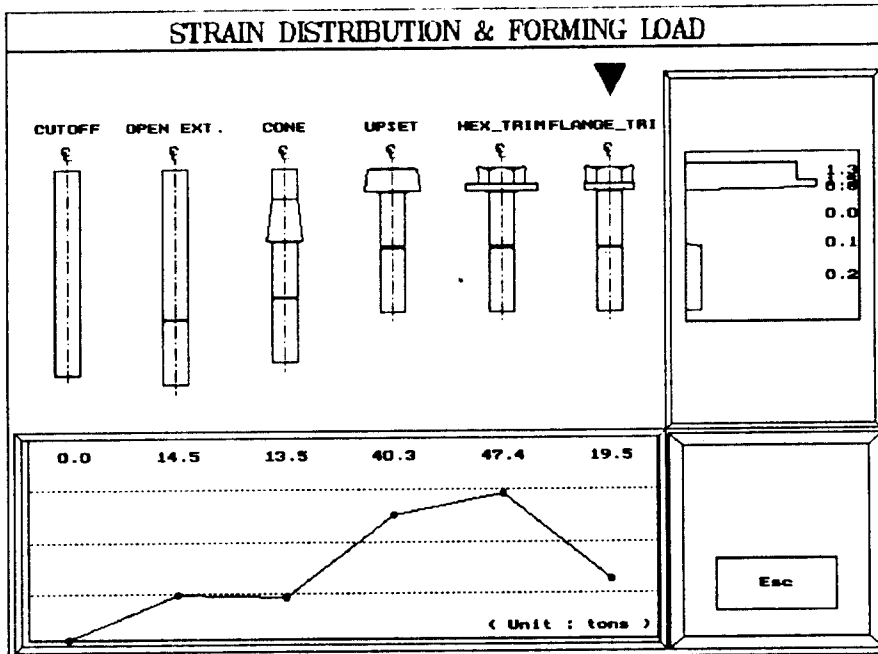


Fig.5 Designed process sequence for hexagon-head bolt  
(Billet diameter = 12mm, Material = AISI1010).

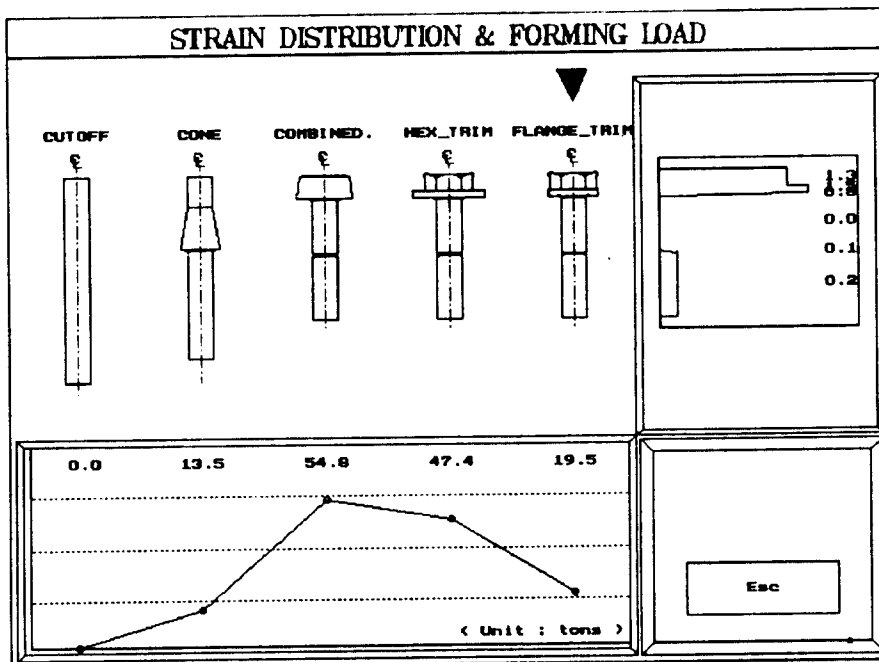


Fig.6 Redesigned sequence by reducing number of processes of Fig.5.

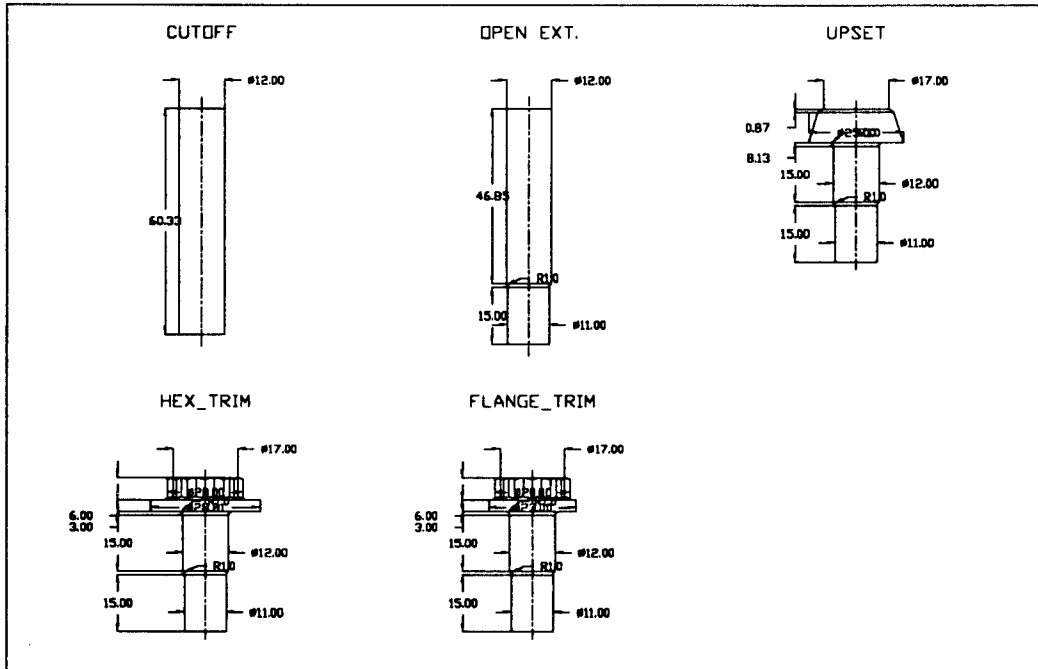


Fig.7 Output CAD drawing for designed process sequence for dodecagon-head bolt(Material = AISI1010).

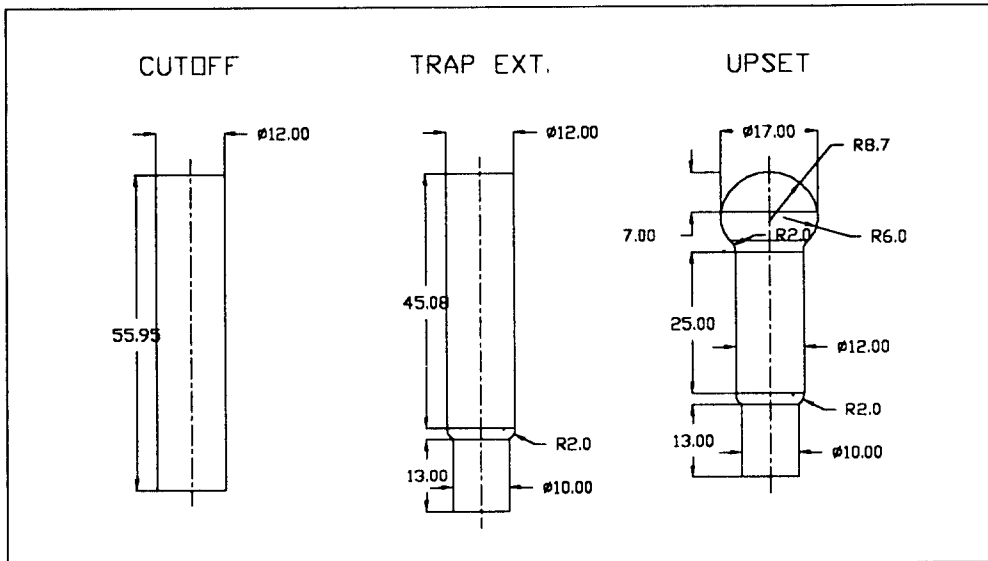


Fig8. Output CAD drawing for designed process sequence for round head rivet(Material = AISI1010).