

고압콘덴서용 단자핀의 냉간단조 공정설계에 관한 연구

김흥석[#] · 윤재웅* · 손일현**

(2004년 1월 26일 접수)

A Study on Cold Forging Process Design of a Terminal Pin for High-Voltage Capacitors

H. S. Kim, J. W. Youn and I. H. Son

Abstract

A terminal pin, which is a part of high-voltage capacitors, has a plate-shaped head section with thickness of 0.8mm. The current manufacturing process, in which the head section is welded on the body part, has given wide deviations of part qualities such as geometrical accuracy, mechanical strength and electrical stability. In this study, a cold forging process sequence was designed in order to produce the terminal pin as one piece. The plate-shaped head section requires an upsetting in the lateral direction of a cylindrical billet, which is followed by a blanking process. The deformed geometry of the lateral upsetting, however, could not be predicted precisely by intuition since metal flows of an axial and a lateral direction of the cylindrical billet would occur simultaneously. Therefore, in this study, three dimensional finite element analyses were applied to the lateral upsetting process in order to determine a proper diameter and height of the cylindrical billet. Once the geometry of the initial billet was determined, intermediate forging processes were designed by applying cold forging guidelines and the designed process sequence was verified by two dimensional finite element analysis. In addition, cold forging tryouts were conducted by using a die set, which was manufactured based on the designed process and finally we found that the part qualities were improved by the proposed cold forging process.

Key Words : High-Voltage Capacitor, Terminal Pin, Cold Forging, Process Sequence Design, Three Dimensional Finite Element Analysis, Lateral Upsetting

1. 서론

고압 콘덴서는 고주파 전자기 발전회로의 핵심 부품으로서 Fig. 1에 나타낸 단자핀 2개가 내부에 삽입된다. 현재 국내에서 생산되고 있는 단자핀은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 머리부와 몸통부를 별도로 성형한 후 용접하는 방법으로 제작되는데, 용접 품질에 따라 제품의 형상 정밀도와 기계적 강도, 전기적 안정성의 산포가 증가하여 불량률이

높을 뿐만 아니라 용접작업 추가에 따른 생산 비효율이 발생하고 있다. 따라서 머리부와 몸통부를 동일한 소재에서 성형하는 일체형 생산공정의 개발을 통하여 용접에 따른 품질 불안요인의 해소 및 생산효율의 증가를 기대할 수 있다.

Fig. 1에 나타낸 단자핀의 경우에 두께 0.8mm의 얇은 사각 머리부를 성형하기 위해서는 전단공정 (shearing process)의 일종인 블랭킹(blanking) 공정이 적용되어야 하므로 초기 소재부터 최종 제품까

교신저자: 대구대학교 공과대학 자동차·산업·기계공학부

* 대구대학교 공과대학 자동차·산업·기계공학부

** 한국과학기술원 기계공학과 대학원

지 일정한 부피를 가정하는 일반적인 냉간단조공정의 설계법⁽¹⁻³⁾이 적용될 수 없다. 또한 머리부에 대한 전단공정의 적용을 위해서는 소재의 원형단면을 판형상으로 압축시키는 측면방향 업세팅(lateral upsetting)이 선행되어야 하는데, 이 경우에 금형과 소재 간의 마찰조건에 따라 소재의 길이방향과 폭 방향으로 상이한 소재 유동이 동시에 발생하므로 업세팅 후의 변형 형상을 직관적으로 예측하는 것이 쉽지 않다.⁽⁴⁾ 그러나 이후 단계인 블랭킹 공정에서 불량 발생을 피하기 위해서는 적절한 업세팅 형상이 제공되어야 하며, 시험작업 중의 시행착오를 줄이기 위해서는 가급적 설계 단계에서 변형 형상을 예측하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 원형단면 빌렛(billet)에 대한 측면방향 업세팅의 변형 형상을 예측하기 위하여 3차원 유한요소해석을 이용하였으며, 블랭킹 공정에 요구되는 소재 치수를 고려하여 중간성형품의 형상을 설계하였다. 설계된 중간성형품의 형상에 축대칭 제품의 냉간단조 설계규칙을 적용하여 블랭킹 이전의 성형공정을 설계하였으며, 2차원 유한요소해석을 통하여 설계된 공정의 타당성을 검토하였다. 또한 설계된 공정에 따라 금형과 성형장비를 제작하여 성형실험을 수행하였으며, 시제품에 대한 고찰을 통하여 개발된 성형공정의 유용성을 입증하였다.

2. 공정특성 분석 및 성형단계 구상

고압콘덴서용 단자핀은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 지름이 각각 2.0mm와 7.5mm인 몸통부와 목부, 그리고 폭과 길이, 두께가 각각 6.3mm, 11.0 mm, 0.8mm인 판형상의 머리부로 이루어져 있다. 이때, Fig. 1의 'A'로 표시된 부분은 치수 미지정 부분으로서 길이가 3.0mm를 만족시킨다면 성형 특성에 따라 전체 형상이 부자연스럽지 않은 범위 내에서 자유롭게 치수를 지정할 수 있다. 제품에 사용된 소재는 저탄소강인 S10C이며 성형 전에 인산염피막처리를 통하여 윤활성을 향상시키고, 성형 후에는 구리-니켈-주석합금을 6~12 μ m 두께로 도금 처리하여 내부식성을 향상시킨다.

제품의 몸통부와 목부의 경우 축대칭 형상이기 때문에 일반적인 판형상 제품에서와 같이 원통형 소재에 대한 축방향 가압을 통하여 성형이 가능하지만 머리부의 경우에는 판형상으로 만들기 위한 측면 방향에서의 가압이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 전체 성형공정을 축방향 가압이 수행되는 예비성형단계와 측면방향 가압이 수행되는 최종성형단계로 구분하여 설계하였다. 초기 소재의 형상은 원통형으로 가정하였으며, 최종 제품과의 형상 비교를 통하여 대략적인 공정의 흐름을 구상하였다. 구상된 공정 흐름의 개략도를 Fig. 3에 나타내었는데, 예비성형단계에서는 전방압출과 업세팅을 이용하여 몸통부와 목부를 성형하고, 최종성형단계에서는 측면방향 업세팅과 블랭킹, 피어싱(piercing) 및 챔퍼링(chamfering)을 통하여 머리부를 성형하게 된다. Fig. 3에 나타난 흐름도는 단지 개략적인 공정의 순서로서 향후 공정설계 규칙의

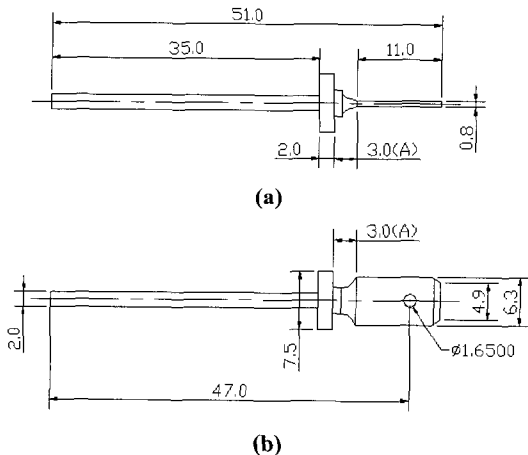


Fig. 1 Drawing of a terminal pin for high-voltage capacitors: (a) front and (b) top view

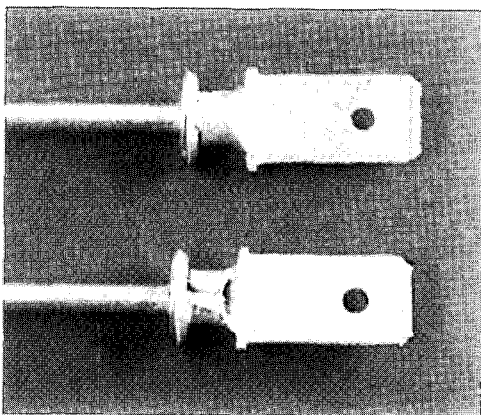


Fig. 2 The head sections of terminal pins produced by using a welding process

적용을 통하여 중간성형품의 세부 치수가 결정되며, 필요할 경우에 공정의 추가나 삭제를 통하여 최종 공정설계안이 확정된다.

Stage	Processes	Schematic Diagram
-	Cut Off	
1	Forward Extrusion	
2	Upsetting	

(a)

Stage	Processes	Schematic Diagram
-	Preform	
1	Upsetting	
2	Blanking	
3	Piercing	
4	Chamfering	

(b)

Fig. 3 Schematic diagram of process flow: (a) preform and (b) final forging stage

최종성형단계의 경우에 최종 제품의 형상과 동일한 치수로 머리부가 성형되도록 세부 치수를 결정할 수 있지만, 예비성형단계의 경우에는 Fig. 3의 'B'로 표시된 예비성형체 머리부의 형상이 결정되지 않았기 때문에 공정의 설계가 불가능하다. 따라서 예비성형단계의 설계를 위해서는 예비성형체 머리부의 형상 결정이 선행되어야 하는데, 머리부의 형상에 따라 최종성형단계의 성형 품질이 좌우되므로 예비성형체의 형상 설계는 전체 공정 설계의 핵심이라고 할 수 있다.

3. 예비성형체의 형상 설계

3.1 공정특성 및 설계기준

예비성형체 머리부의 형상 결정을 위해서는 이

후에 수행될 측면방향 업세팅 및 블랭킹 공정에 대한 특성이 고려되어야 한다. 측면방향 업세팅의 목적은 원형단면의 소재를 측면방향으로 압축시켜 블랭킹 공정에 적합한 판형상으로 성형시키는데 있다. 본 제품에 대한 블랭킹 공정의 적용 시 가장 큰 문제가 되는 것은 전단면에 발생하는 버(burr)로서 이후 단계의 피어싱 공정이나 챔퍼링 공정에서 금형을 손상시키거나 머리부의 평탄도를 악화시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 버의 발생을 줄이기 위해 펀치와 금형 사이의 클리어런스(clearance)를 정밀 블랭킹(fine blanking) 수준인 0.5% 이내로 설정하였으며, 성형 시 소재의 움직임을 방지하기 위한 블랭크 홀더(blank holder)를 설치하였다. 그러나 충분한 버 발생의 억제 효과를 얻기 위해서는 일정량 이상의 소재 면적이 블랭크 홀더에 의해 지지되어야 한다. 따라서 측면방향 업세팅에 의한 변형 형상이 블랭킹 공정에 대해 충분한 여유폭을 제공할 수 있도록 예비성형체의 머리부 형상이 설계되어야 한다.

일반적으로 블랭킹이나 피어싱과 같은 전단공정에서 제안되는 여유폭은 소재 두께의 1~1.5배 이상이다.⁽⁵⁻⁶⁾ 그러나 일반적인 판재의 전단공정과는 달리 본 제품의 경우에는 두께에 비해 제품의 폭과 길이가 작고, Fig. 4의 'C1'에 나타난 바와 같이 블랭킹 성형 전의 소재 외곽이 업세팅에 의한 배부름(bulging) 형상이 되기 때문에 블랭크 홀더에 의한 지지력이 감소한다. 따라서 본 제품에 대해서는 일반적으로 판재에 대해 제안되고 있는 설계치에 비해 보다 큰 여유폭의 설정이 필요하리라 판단되었다. 또한 Fig. 4의 'C2'로 표시된 길이방향 단부의 경우에 폭 방향에 비해 인선 길이가 짧고 한쪽 단만이 편측으로 지지되기 때문에 폭 방향에 비해 더 큰 여유폭이 제공되어야 할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 여유폭의 크기를 폭과 길이 방향에 대해 각각 소재 두께의 2배와 4배로 설정하였다.

단자핀 머리부의 최종 형상은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 폭과 길이가 각각 6.3mm와 11.0mm이다. 그러나 최종성형단계의 마지막 공정인 챔퍼링에서 길이 0.8mm구간에 대해 10°의 각도로 소재의 두께가 감소하므로 약 0.15mm의 길이 증가가 발생하기 때문에 블랭킹 공정에서의 머리부 길이는 10.85mm가 된다. 따라서 Fig. 4에 나타난 여유폭 관계에 의해 측면방향 업세팅 공정에서의 목표 치수는 폭과 길이에 대해 각각 9.5mm와 14.05mm

가 되며, 이러한 목표 치수의 달성을 위한 초기 소재의 형상이 결정되어야 한다.

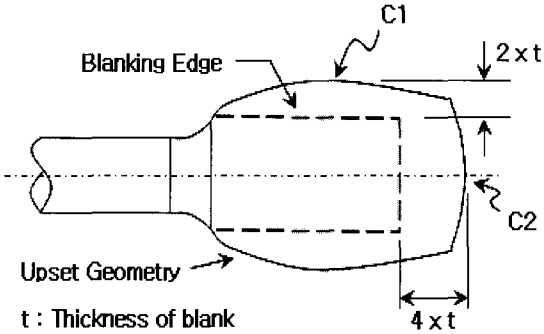


Fig. 4 Relationship between blank holder lengths and thickness of the part

3.2 측면방향 업세팅의 해석조건

전 절에서 설정된 목표 치수를 얻기 위해 원형 단면 소재의 측면방향 업세팅에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하였는데, 강점소성 유한요소해석 프로그램인 CAMPform-3D 가 사용되었다.⁽⁷⁻⁸⁾ 해석에 사용된 금형과 소재의 형상을 Fig. 5에 나타내었는데, 공정의 대칭성에 따라 전체 형상의 1/4만을 고려하였다.

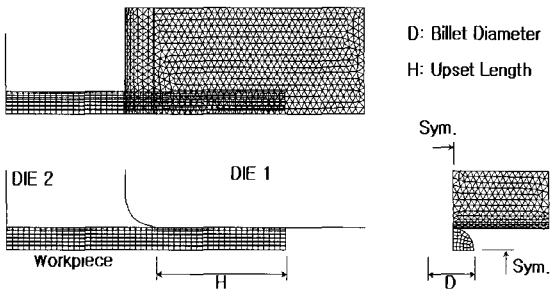


Fig. 5 Analysis model of the lateral upsetting

제품의 재질은 저탄소강인 S10C 로서 (1)식으로 표현되는 응력-변형률식을 사용하였으며, 금형과 소재 간의 마찰상수는 성형 시 윤활유가 제공되는 냉간 강의 인산염피막처리 조건을 고려하여 0.16으로 설정하였다.⁽³⁾

$$\bar{\sigma} = 713.1 \bar{\epsilon}^{0.22} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

본 연구에서는 초기 빌렛의 지름과 압축되는 부위의 길이 변화에 따른 변형 형상을 고찰하기 위하여 소재의 지름 D와 업세팅 길이 H를 변화시켜 해석을 수행하였다. 이 때, 고려되어야 할 소재 지름의 범위를 설정하기 위해 예비성형단계의 전방압출 및 업세팅 공정에 대한 설계규칙을 적용하였다. 전방압출에 대한 압출비는 (2)식으로 표현되는데, 일반적으로 성형이 가능한 압출비의 최대값은 75%이다.⁽²⁾

$$\frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100(\%) = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \times 100(\%) \quad (2)$$

(2)식에서 A_0 와 A_1 은 각각 성형 전후의 소재 단면적이고, D_0 와 D_1 은 각각 성형 전후의 소재 지름이다. Fig. 3에 나타난 공정 개략도에서와 같이 초기 빌렛에서 지름 2.0mm인 몸통부가 전방압출로 성형되기 때문에 최대 압출비를 고려할 때 빌렛 지름의 최대값은 (2)식에서 4.0mm로 계산된다. 또한 업세팅 공정의 경우 업세팅 후의 지름이 성형 전 지름의 2.5배를 초과할 경우 제품 표면에 연성과괴(ductile fracture)에 의한 균열 발생의 위험이 높은 것으로 알려져 있다.⁽²⁾ 본 제품의 경우 초기 빌렛에서 지름 7.5mm의 목부가 성형되어야 하므로 빌렛 지름의 최소값은 3.0mm가 된다. 따라서 사용 가능한 빌렛 지름의 범위는 3.0-4.0mm인데, 이 구간에서는 지름 0.1mm 단위로 원소재 코일을 제공받을 수 있기 때문에 3.0mm에서 4.0mm까지 0.1mm씩 증가되는 11개의 지름이 고려될 수 있다. 업세팅 길이의 경우에는 성형 후의 길이 증가량을 예측하기 어렵기 때문에 8.0mm에서 14.0mm까지 0.5mm 간격으로 총 13개의 길이를 설정하였다. 따라서 고려되어야 할 빌렛 지름과 업세팅 길이는 총 143개의 조합이 된다.

3.3 해석결과 및 형상결정

진술한 바와 같이 고려되어야 할 빌렛 지름 및 업세팅 길이의 조합이 많기 때문에 모든 경우에 대한 해석 수행 시 시간 소모가 막대할 것으로 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 빌렛 지름 D와 업세팅 길이 H를 각각 가로축과 세로축 상에 배치한 후 해석 범위의 중앙에서 해석을 실시하여 해석 결과에 따라 조건의 범위를 축소시키는 방법을 사용하였다. Fig. 6에 나타난 조건표에서 해석 시작점은 S0로서 빌렛 지름과 업세팅 길이는 각각 3.5mm와 11.0mm인데,

해석으로 얻은 변형 형상과 목표 형상을 비교하면 이후의 해석 방향을 결정할 수 있다. 만일 해석으로 얻은 변형 형상의 폭이 목표치보다 크고 길이는 목표치보다 작다면 빌렛 지름은 감소해야 하고 업세팅 길이는 증가해야 하므로 해석은 D4 방향으로 진행되어야 한다. 만약, 해석의 방향을 D2로 설정한다면 변형 형상의 폭과 길이가 목표치보다 모두 커지기 때문에 원하는 초기소재의 형상을 얻을 수 없게 된다. 따라서 유효한 해석 범위는 그림에서 점선으로 표시된 사각형으로 축소되는데, 새로운 해석 범위의 중앙 부근에 위치한 조건 S1에 대해 동일한 과정을 반복한다. 이러한 방법을 사용하면 해석을 한 번 수행할 때마다 해석의 범위가 약 1/4 정도씩 축소되기 때문에 총 143개의 조합에 대하여 5~6회만의 해석으로 원하는 목표 조건을 탐색할 수 있다.

성형체 머리부의 지름은 해석에서 얻은 빌렛 지름과 동일한 3.4mm로 설정하였으며, 머리부의 길이는 자유치수 지정부의 길이 3.0mm를 더하여 14.0mm로 설정하였다.

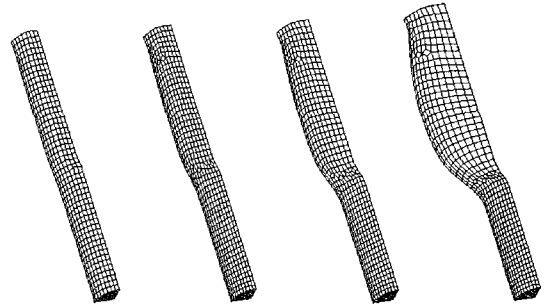


Fig. 7 Upset geometries obtained by 3D FE analyses with compression ratio of 23, 46, 77 and 100%

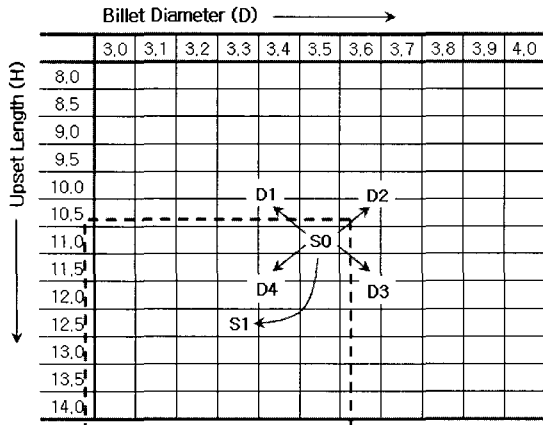


Fig. 6 Analysis cases and solution searching direction

이상의 방법을 사용하여 해석을 수행한 결과 목표 형상에 가장 근접한 경우는 소재 지름과 업세팅 길이가 각각 3.4mm와 11.0mm인 경우임을 알 수 있었다. 이 때, 변형 형상의 폭과 길이는 각각 9.49mm와 14.17mm로서 설정된 목표치인 폭 9.5mm, 길이 14.05mm와 매우 근접함을 알 수 있었다. Fig. 7에 압하율에 따른 소재의 변형 형상을 나타내었는데, 압축의 진행에 따라 업세팅부의 길이는 비교적 일정하게 증가하지만 업세팅 폭은 성형 후반부에 급속히 증가함을 알 수 있었다. 이상의 해석 결과를 통하여 목표치를 만족하는 빌렛 지름과 업세팅 길이를 결정할 수 있었는데, 예비

4. 전체 공정의 설계 및 시험 성형

4.1 예비성형단계의 공정설계

초기 소재의 지름을 예비성형체 머리부의 지름 3.4mm와 동일하게 설정할 경우 Fig. 3에 나타낸 구상도에서와 같이 전방압출을 통하여 몸통부가 성형되며 업세팅을 통하여 접시 모양의 목부가 성형된다. 결정된 빌렛 지름 3.4mm에 대하여 전방압출비와 업세팅 전후의 지름비를 계산하면 각각 65.4%와 2.2로서 성형한계 범위 내에 있음을 알 수 있다. 또한 업세팅 공정 시 급형으로 축면이 지지되지 않는 소재의 길이가 지름의 2.3 배를 초과할 경우 좌굴이 발생할 수 있는데, (2) 본 제품의 경우에 이러한 비구속지지부의 길이는 6.7mm이며 빌렛 지름과의 비는 1.97로서 1회의 업세팅 공정으로 성형이 가능하리라 판단되었다. 그러나 단자편에 대해서는 진직도와 동심도가 매우 중요하기 때문에 예비 업세팅 공정을 추가하여 총 2 회의 업세팅 공정을 설계하였다.

이상의 과정을 통하여 설계된 예비성형공정을 Fig. 8에 나타내었으며, 2 차원 유한요소해석을 통하여 얻은 변형 형상을 Fig. 9에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 미성형(under-fill)이나 소재 겹침(folding) 등과 같은 형상 불량없이 성형이 가능함을 예측할 수 있었다. 또한 Fig. 10에 나타낸 최종성형품의 유효변형률 및 유효응력을 고려할

때 연성과파괴나 금형의 파손 등과 같은 성형불량의 위험은 없으리라 판단할 수 있었다.

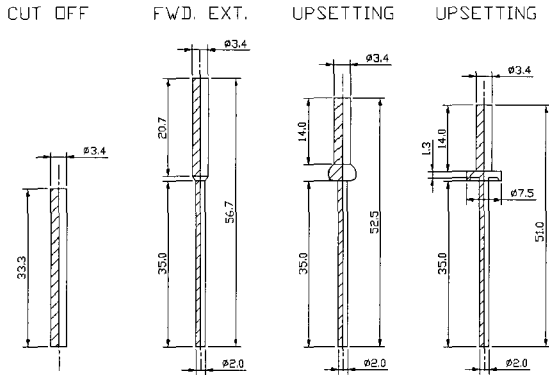


Fig. 8 Designed process sequence for the preform stage

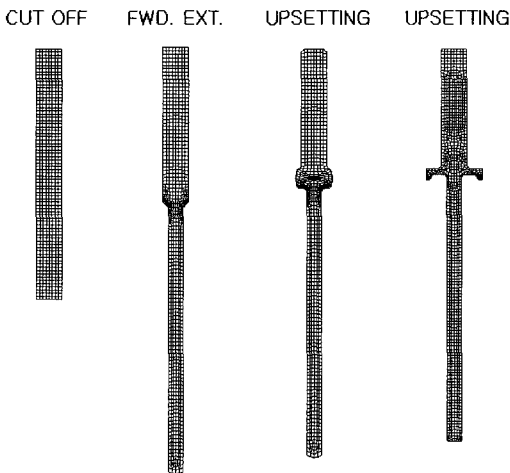


Fig. 9 Deformed shapes obtained by 2D FE analyses for the preform forging stage

4.2 최종성형단계의 공정설계

최종성형단계에서는 측면방향 업세팅 공정을 제외하면 제품의 최종 형상과 동일한 치수를 갖는 외곽면과 구멍이 순차적으로 성형되며, 전반적으로 Fig. 3에 나타난 공정 구상도에 대해 큰 수정없이 세부 공정을 설계할 수 있었다. 단, 3단계의 피어싱 공정과 4단계의 챔퍼링 공정에 대해서는 복합공정(combined process)을 통한 동시 적용이 가능

하다고 판단되었기 때문에 동일 단계로 병합하였다. 따라서 최종성형단계는 1단계의 측면방향 업세팅과 2단계의 블랭킹, 3단계의 피어싱 및 챔퍼링의 복합공정으로 이루어지는 총 3단계의 공정으로 설계되었다.

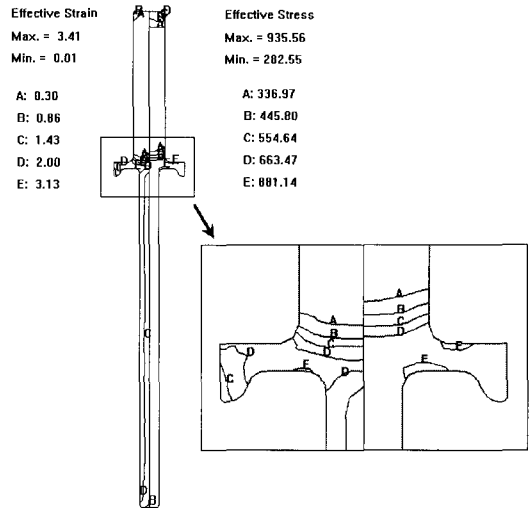


Fig. 10 Effective strain and effective stress obtained by 2D FE analysis for the preform forging stage

4.3 성형 실험

설계된 공정에 대하여 금형 및 성형기를 제작하여 성형 실험을 수행하였다. 본 제품의 경우에 예비성형단계와 최종성형단계의 가압 방향이 다르기 때문에 동일한 프레스를 사용할 경우에 중간성형품의 자동이송 메커니즘이 복잡해지며 이송정밀도가 떨어지게 된다. 또한 전체 성형단계수가 비교적 많기 때문에 동일한 프레스를 사용하는 것보다 각 단계에 대해 별도의 성형기를 사용하는 것이 유리하리라 판단되었다. 따라서 예비성형단계에서는 고속생산이 가능한 단단포머(multi-stage former)를 사용하여 성형을 수행하였으며, 최종성형단계에서는 Fig. 11에 나타난 바와 같이 유압으로 작동되는 전용 성형기를 제작하여 사용하였다.

Fig. 12에 성형 실험으로 얻은 예비성형단계 및 최종성형단계의 성형품을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 설계된 공정에 따라 머리부와 몸통부를 일체형으로 성형할 수 있었으며, 불량없는 제품을 얻을 수 있었다. 새로운 공정에 의해 제작

된 단자핀의 성능을 평가하기 위해 시제품 중 무작위로 추출된 표본 100개에 대하여 Table 1에 나타난 바와 같은 치수 측정 및 성능 검사를 수행하였다. 검사의 결과로 새로운 공정에 의해 제작된 시제품은 모두 검사 표준을 만족시킴을 알 수 있었는데, 용접에 의한 기존 생산공정에서의 불량률이 약 10%임을 고려할 때 일체형 단조공정의 개발을 통하여 충분한 비용절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 평가되었다. 다만, 동심도 및 직각도 등의 치수정밀도를 확보하기 위하여 예비성형단계 및 최종성형단계에서 각 3단계씩의 총 6 공정이 배치되었는데, 연성 재료인 S10C에 대해 비교적 공정수가 많은 편이며 향후 공정 수 감소를 위한 연구가 필요하리라 판단된다.

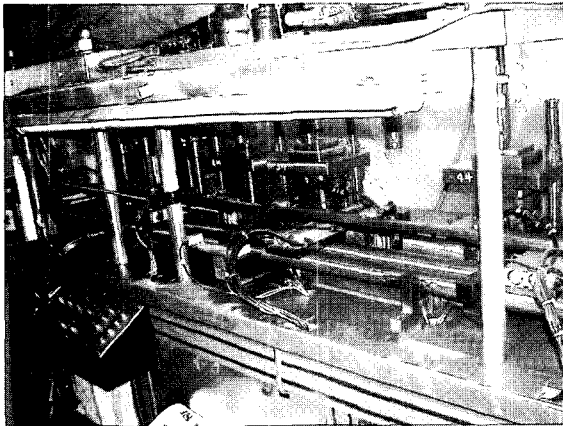
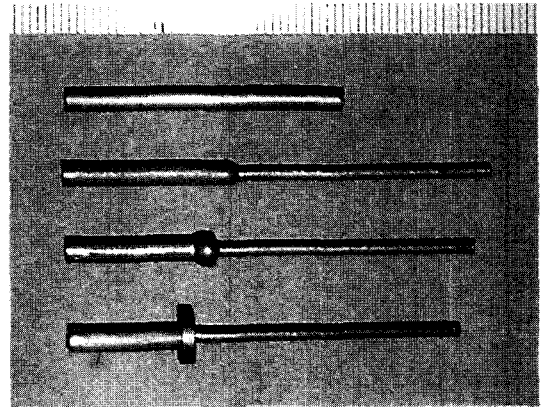


Fig. 11 The manufactured forming machine for the final forging stage

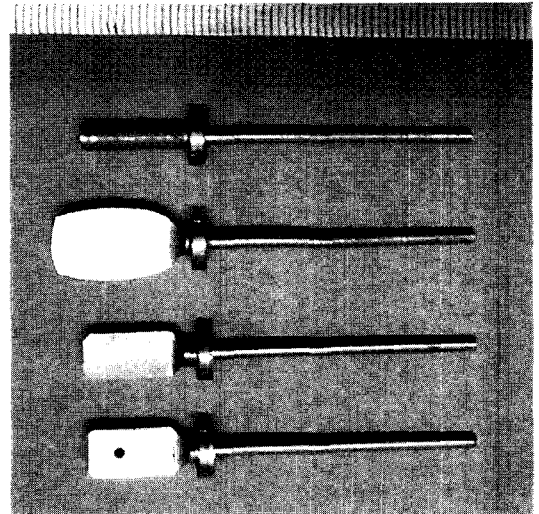
5. 결론

본 논문에서는 고압콘덴서용 단자핀에 대한 일체형 냉간단조 성형공정의 설계를 통하여 머리부와 몸통부를 별도로 성형하여 용접하던 기존의 생산 방식을 개선하였다. 본 제품의 경우에 블랭킹을 통하여 머리부의 성형이 이루어지는데, 소재의 일부가 제거되기 때문에 동일 체적을 가정하는 일반적인 냉간단조공정의 설계법을 적용할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 원형단면 빌렛의 측면방향 업세팅 공정에 대한 3차원 유한요소해석을 통하여 예비성형체 형상을 결정하였으며, 전방압출 및 업세팅 공정에 대한 설계규칙을 적용하여 전체 단조 공정을 설계하였다. 또한 금형과 성형

기를 제작하여 성형 실험을 수행함으로써 설계된 공정의 타당성을 검증하였으며, 치수 측정 및 성능 검사를 통하여 시제품이 고압콘덴서용 단자핀의 요구 성능을 모두 만족함을 알 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 12 Forging products obtained by tryouts: (a) preform and (b) final forging stage

Table 1 Required testing standards of terminal pins and inspection results

Properties	Specifications	Results
Straightness	below 0.03mm	max. 0.012mm
Vert. Strength	above 15 kgf	min. 18.4 kgf
Capacitance	500 pF± 25%	430.7~552.8 pF
Dielectric loss	below 1.0 %	max. 0.35 %

후 기

본 연구는 2003년도 대구대학교 학술 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 또한 본 연구에서 수행된 유한요소해석에는 한국과학기술원의 임용택 교수님께서 개발하신 CAMPform-2D/3D가 사용되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) National Machinery Company, 1981, "National Forging Talks", Tiffin, Ohio.
- (2) National Machinery Company, "Part Shape Development and Tool Design for Multidie Cold Forming", Item 743A, Tiffin, Ohio.
- (3) H. S. Kim and Y. T. Im, 1999, "An Expert System for Cold Forging Process Design Based on a Depth-First Search," J. Mater. Proc. Technol., Vol. 95, pp. 262~274.
- (4) 日本塑性加功學會, 1990, "鍛造-塑性加功技術シリーズ 4", コロナ社.
- (5) 김세환, 이은중, 2002, "금형일반", 대광서림.
- (6) D. F. Eary and E. A. Reed, 1974, "Techniques of Pressworking Sheet Metal", Prentice-Hall.
- (7) 광대영, 천재승, 김수영, 이근안, 임용택, 2000, "PC 기반 소성가공공정 해석시스템 개발", 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 3 호, pp. 233~241.
- (8) P. B. Hussain, J. S. Cheon, D. Y. Kwak, S. Y. Kim and Y. T. Im, 2002, "Simulation of Clutch Hub Forging Process using CAMPform," J. Mater. Proc. Technol., Vol. 123, No. 1, pp. 120~132.