

# Axle-Housing 성형공정의 유한요소해석

박철, 최호준, 황병복\*

인하대학교 공과대학 자동화공학과 대학원

\* 인하대학교 공과대학 자동화공학과

## FE Analysis of the Forming Process of an Axle-Housing

Chul Park, Ho-Joon Choi, Beong-Bok Hwang\*

Graduate Student, Dept. of Industrial Automation, Inha University

\* Dept. of Industrial Automation, Inha University

### ABSTRACT

A manufacturing process for the axle-housing is analyzed by the rigid-plastic finite element method. The process contains five stages for the final product. During the simulation, remeshings are done four times due to severe mesh distributions. FE Analysis is performed mainly for strain distributions and load-stroke relationships. Those results are to be an useful design criteria for designing a new process sequence in future.

### 1. 서 론

최근의 자동차 산업의 호황으로 인하여 국내의 단조 산업은 소재의 발전과 더불어 양적·질적 성장을 하고 있다. 과거와는 달리 현재의 대부분의 주요 기계부품의 생산은 단조품으로부터 시작되며, 절삭가공제품과 비교할 때 대개는 품질이 우수하고 가공단가가 저렴하기 때문에 제조·생산 분야에서 차지하는 비중이 나날이 늘어나고 있다. 이러한 추세에 따라 과학적이고 체계적인 기술축적과 고급 기술인력의 유입이 절실히 요구되고 있다. 단조산업이 발전하기 위해서는 소재기술, 설계기술, 열처리기술, 금형제작기술, 생산기술 등이 함께 발전하여야 한다. 그러나 국내의 단조공정 설계기술은 설계보조도구가 별무하고 기술적 및 인적 환경이 관련산업의 발전에 비하여 별로 개선된 점이 없어

타 분야에 비하여 낙후되어 있다. 따라서 이러한 문제점들을 개선하기 위해서는 신기술의 개발과 장비의 과감한 도입 등이 필요하나 엄청난 비용과 시간 및 시행착오 등을 감수해야 한다.

하지만 이러한 비용, 시간 및 시행착오 등은 유한요소법이라 불리는 시뮬레이션 기술<sup>1)2)</sup>에 의하여 극복될 수 있다. 최근들어 이러한 유한요소법을 단조부품의 성형공정해석에 이용한 많은 논문들이 발표되었다. Al-Sened<sup>3)</sup>등은 헤드포밍공정을 유한요소법으로 해석하여 4개의 가공단계에 대한 최적의 형상과 치수를 구하였다. 또한, Kang<sup>4)</sup>은 같은 공정을 유한요소법에 의한 후방추적기법을 이용하여 좌굴과 표면균열 등이 없는 2단계의 성형공정을 제안하였으며, Hwang<sup>5)</sup>등은 기존의 유한요소법이 안고 있는 접촉문제를 개선하기 위하여 벌칙강소성 유한요소법을 개발하여 다양한 종류의 해석 및 설계 문제에 성공적으로 적용하였다.

본 논문에서는 기존의 제작공정을 개선시키기 위한 설계자료를 얻기 위하여 엑슬하우징(Axle-Housing)에 대한 기존의 제작공정을 해석하였다. 이 엑슬하우징은 자동차 부품의 하나로 중앙부에 파이널기어와 디퍼렌셜기어가 장착되어 있으며, 휠에 작용하는 상하, 좌우, 전후방향 하중에 의한 만곡 모멘트의 대부분을 받는다. 그리고, 해석을 위하여 강소성 유한요소법을 사용하였다.

## 2. 해석방법

소성가공 문제에 유한요소법을 적용할 때는 지배적인 변형형태에 따라 탄소성 유한요소법(elastic-plastic finite element method)<sup>6)7)8)</sup>과 강소성 유한요소법(rigid-plastic finite element method)<sup>9)10)</sup>의 두 가지로 구별하여 적용한다. 박판의 성형과 같이 굽힘에 의한 변형이 지배적인 가공에서는 탄성변형을 무시할 수 없으며 변형 후에 스프링백과 잔류응력 등을 알아보기 위해서는 탄소성 유한요소법을 사용하여야 하나, 본 논문의 엑슬하우징의 성형과정에서는 탄성변형의 양이 소성변형에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작고 압출(extrusion)이 주된 작업공정이기 때문에 시뮬레이션의 효율을 높이기 위하여 강소성 유한요소법을 사용한다.

엑슬하우징은 어니일링된 직경 136.525 mm, 높이 88.9 mm 인 AISI 1030 강재의 슬러그를 사용하여 제작된다. 엑슬하우징의 기존의 생산방법은 Fig. 1에서와 같이 5 단계의 제작공정으로 이루어져 있다. 윤활제로는 건조된 비누가루가 사용되었으며 분당 14 행정의 능력이 5500 ton(53.96 MN)인 기계프레스가 사용되었다. 마찰로는 일정전단마찰(constant shear friction)을 사용하였으며 편치와 다이 모두 0.05인 것으로 가정하였다.<sup>11)</sup> 기존의 생산방식에서 첫 번째 공정은 후방압출(Backward extrusion)작업이며, 두 번째 공정은 피어싱(Piercing)작업이다. 그리고 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 공정은 전방압출(Forward extrusion)이 주된 변형형태이며, 약간의 후방압출이 섞여 있는 복합공

정이다. 해석에 사용된 재료의 유동응력과 변형률의 관계식은 다음과 같다.<sup>12)</sup>

$$\bar{\sigma} = (523.1) \bar{\epsilon}^{-0.17} \quad [MPa], \quad \bar{\epsilon} < 0.7 \quad (1)$$

그리고 유효변형율이 0.7보다 큰 경우에는 다음과 같은 응력-변형률 관계를 갖는다.

$$\bar{\sigma} = 492.3 \quad [MPa], \quad \bar{\epsilon} \geq 0.7 \quad (2)$$

### 3. 공정해석 결과

Fig. 1의 공정순서는 기존의 5단계 공정에 의한 제작방법이다. 이러한 제작공정은 프레스 장비 전문가들이 최대 하중값 이내에서 결합없이 완성품이 제작될 수 있도록 공정을 설계한 것이다.

Fig. 2는 기존의 공정에서 첫 번째 작업인 후방압출이다. 이 작업에서는 편치 하단부에서 심한 높이감소가 생기기 때문에 편치 주변의 소재에서 커다란 변형이 일어난다. 따라서 시뮬레이션 도중에 격자들이 다이내부로 침투하는 것을 방지하기 위하여 편치의 하단부에는 격자들이 가로가 짧고 세로가 긴 모양이 되도록 하였고 편치도 라운딩을 주었다. Fig. 7에 첫 번째 공정의 하중-변위에 대한 해석결과가 나와 있다. 공정 초기의 하중은 편치가 내려가도 거의 일정하다. 또한, 소재가 바닥에 닿을 때 하중이 급격히 증가하고 바닥면에 소재가 거의 접촉하고 있는 상태에서 후방압출이 진행되는 동안 다시 일정한 하중을 보인다. 그리고 공정이 거의 끝날 때 하중이 급격히 증가하며 공정이 끝났을 때 최고에 도달한다. 이때의 최대 편치하중은 48.4 MN이다.

Fig. 3은 두 번째 작업인 피어싱 작업이다. 이 작업에서는 편치의 하단부를 잘라 내는 것인데 시뮬레이션에서는 격자를 재구성하여 잘라 내었다. 따라서 잘라낸 것만을 제외하면 첫 번째 공정과 스트레인의 분포는 거의 같다. 이후의 공정은 세 번의 전방압출 작업이다.

Fig. 4는 압출비가 1.5인 전방압출 작업으로서, 소재의 하단부는 직경 136.5 mm에서 직경 88.9 mm로 감소하였다. 또한, 그림에서 알 수 있듯이 편치와 다이의 벽면을 따라 최대변형이 일어났다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 행정-하중선도는 편치가 내려감에 따라 점차적으로 증가하였으며 최대 편치하중은 18.8 MN이다.

Fig. 5는 네 번째 작업인 전·후방압출 작업으로서 공정을 시작하기 전에 예비성형체는 어니일링되고 코팅되었다. 이 작업에서는 스트레인의 분포가 없으므로 시뮬레이션에서는 격자를 새로 구성하여 수행하였다. 그림에서 알 수 있듯이 주로 소재의 상단부에

서 복잡한 변형형태를 보인다. 이 단계에서의 예비성형체는 거의 완성품의 골격을 갖추고 있으며, Fig. 9에서 보는 바와 같이 행정중에 하중의 급격한 변화는 주로 다이의 계단부에 소재가 접촉하거나 완전히 채워질 때 일어났다. 또한, 최대 편치하중은 14.9 MN이다.

Fig. 6는 마지막 작업으로서 전 단계와 마찬가지로 전·후방압출 작업이다. 이 작업에서는 예비성형체의 하단부의 벽두께가 15.875 mm에서 11.125 mm로 감소하였으며 보는 바와 같이 다이의 모든 부분을 격자들이 잘 채웠다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 행정중간의 하중변화가 나타나 있으며 최대 편치하중은 38.8 MN이다.

## 4. 결 론

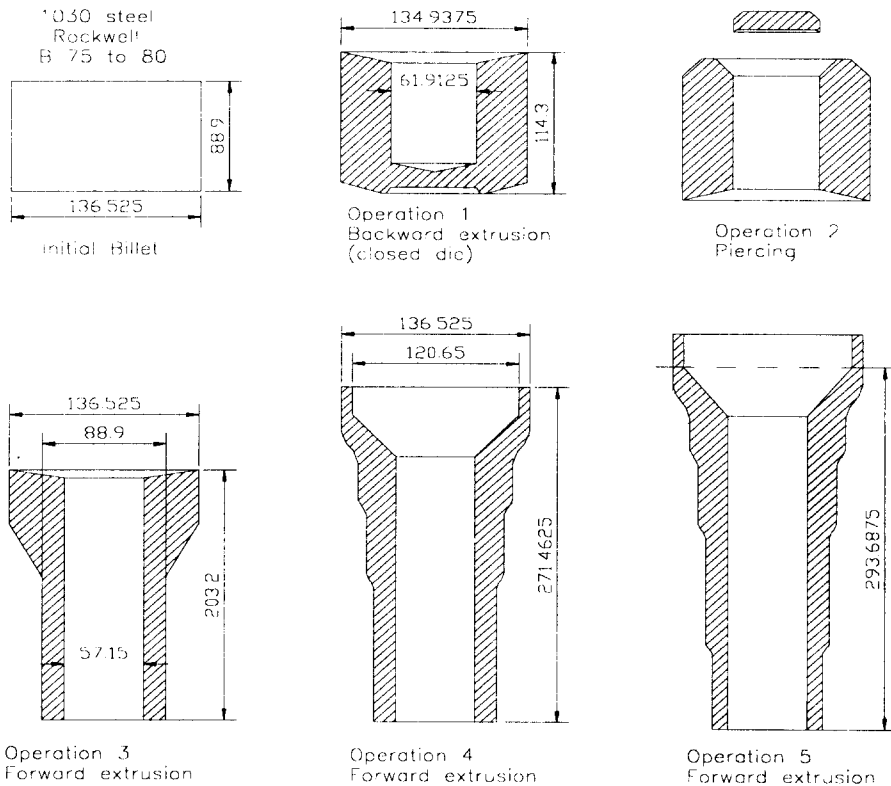
압출과 피어싱 작업의 5단계 공정으로 가공되는 자동차용 엑슬하우징의 가공공정을 강소성 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 본 논문의 해석결과는 새로운 공정의 설명을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다. 또한, 5단계의 공정중 제 1단계 공정인 후방압출 가공시 대부분의 성형이 이루어 진다는 것을 알 수 있었다. 최대 편치하중은 5단계의 공정 모두 프레스의 최대능력인 53.96 MN보다 작은 결과를 보였다.

## 참 고 문 헌

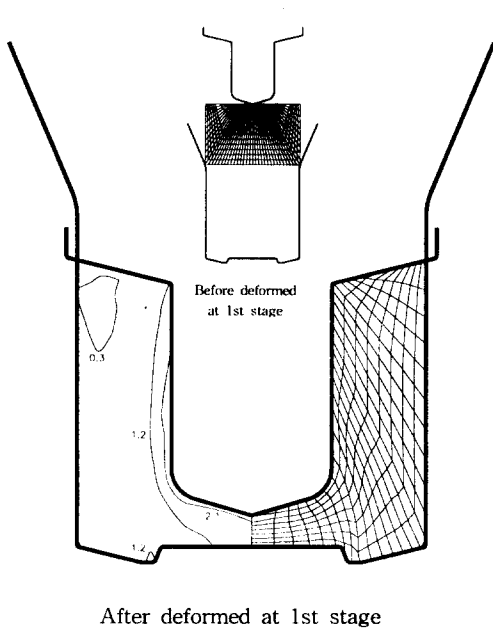
1. C. H. Lee and S. Kobayashi, "New Solutions to Rigid-Plastic Deformation Problems Using a Matrix Method", ASEM Trans., J. Eng. for Ind., Vol. 95, p.865, 1973.
2. S. I. Oh, W. T. Wu, J. P. Tang and A. Vedhanayagam, "Capabilities and Application of FEM Code DEFORM: the Perspective of the Developer, " J. of Materials Processing Tech., Vol. 27, pp.25-42, 1991.
3. A. A. K. Al-Sened, P. Hartley, C. E. N. Sturges and G. W. Rowe, "Finite element analysis of a five stage cold heading process," J. Mech. Working Tech., Vol. 14, p. 225, 1987.
4. B. S. Kang, N. S. Kim and S. Kobayashi, "Computer-aided preform design in forging of an airfoil section blade", Int. J. Mach. Tools and Manufacture, Vol. 30, No. 1, p.43, 1990.
5. S. M. Hwang and M. S. Joun, "Analysis of Hot Strip Rolling by a Penalty Rigid-Viscoplastic Finite Element Method, " Int. J. of Mech. Sci., Vol. 34, No. 12, pp.971-984, 1992.
6. K. Lange, M. Herrmann, P. Keck and M. Wilhelm, "Application of an elasto-plastic finite element code to the simulation of metal forming processes," J. Material Processing Technology, Vol. 27, p. 239, 1991.
7. M. J. Saran, "Comparison of elastic-plastic and rigid-plastic implicit FEM simulations in sheet forming applications," J. Materials Processing Technology,

Vol. 27, p. 279, 1991.

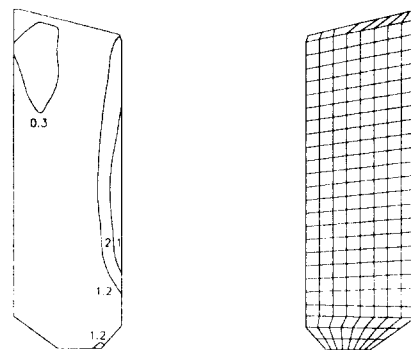
8. J. H. Cheng and N. Kikuchi, "An analysis of metal forming processes using large deformation elastic plastic formulations," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, Vol. 49, p. 71, 1985.
9. C. H. Lee and S. Kobayashi, "New solutions to rigid-plastic deformation problems using a matrix method," *J. Eng. Ind., Trans. ASME*, Vol. 95, p. 865, 1973.
10. S. Kobayashi and J. H. Kim, "Deformation analysis of axisymmetric sheet metal forming processes by the rigid-plastic finite element method," *Mechanics of Sheet Metal Forming*, edited by Koistinen and Wang, Plenum, New York, p. 341, 1978.
11. 이동녕, "소성가공학", 문운당, p.128, 1994.
12. Air Force Materials Laboratory, "Forging Equipment, Materials, and Practices," *Metals and Ceramics Information Center*, p.164, 1973.



**Fig. 1 Production of an axle-housing in five operations**



**Fig. 2 Deformation patterns for the first step operation**



**Fig. 3 Deformation patterns for the second step operation**

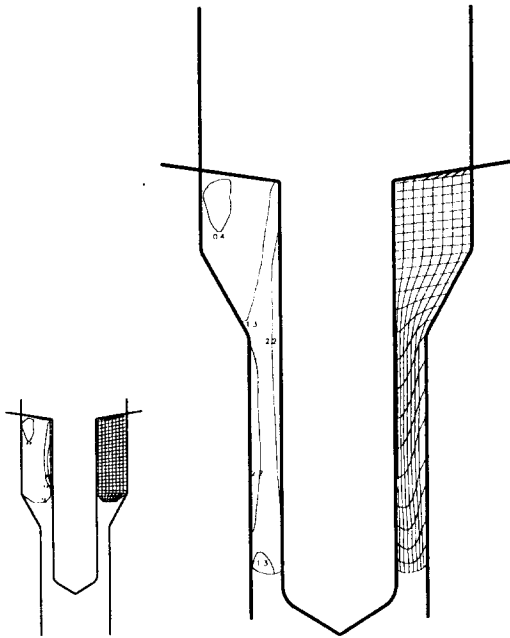


Fig. 4 Deformation patterns for the third step operation

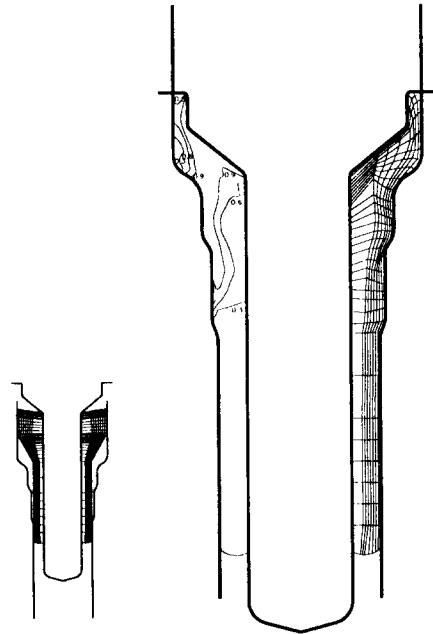


Fig. 5 Deformation patterns for the fourth step operation

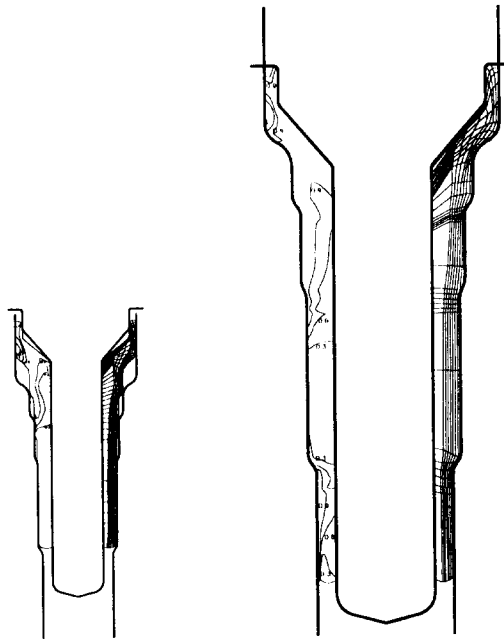


Fig. 6 Deformation patterns for final step operation

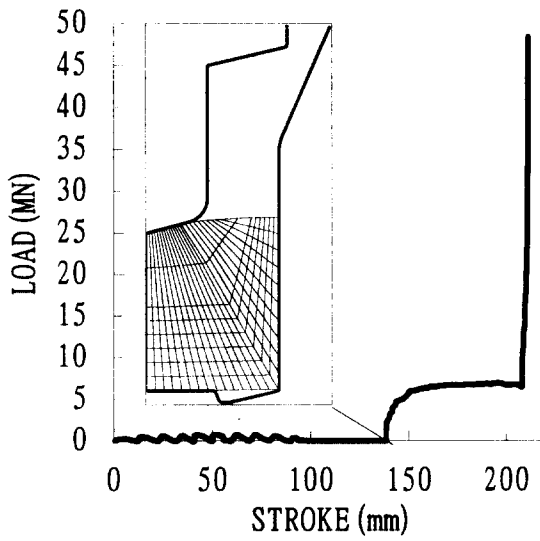


Fig. 7 Load-stroke relationships for the first step operation

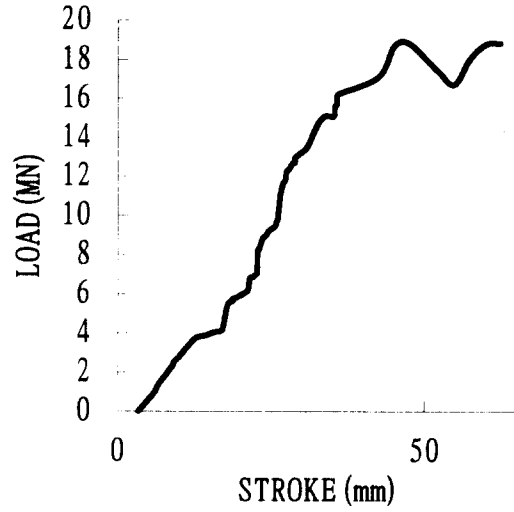


Fig. 8 Load-stroke relationships for the third step operation

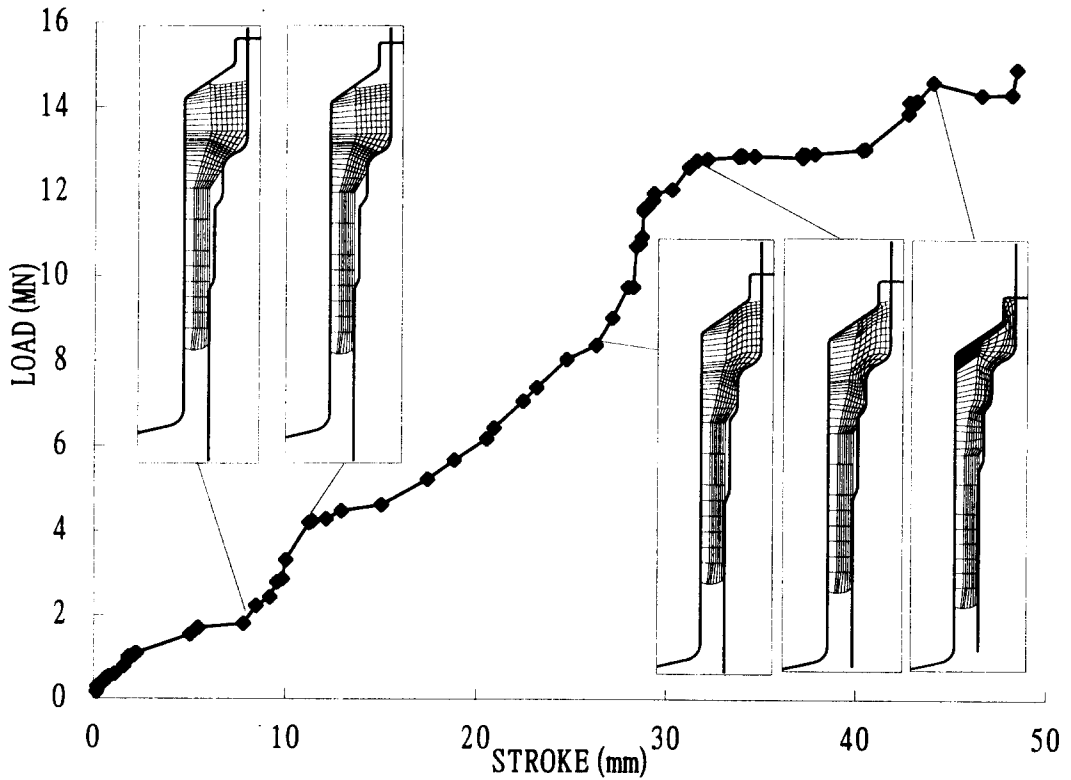


Fig. 9 Load-stroke relationships for the fourth step operation



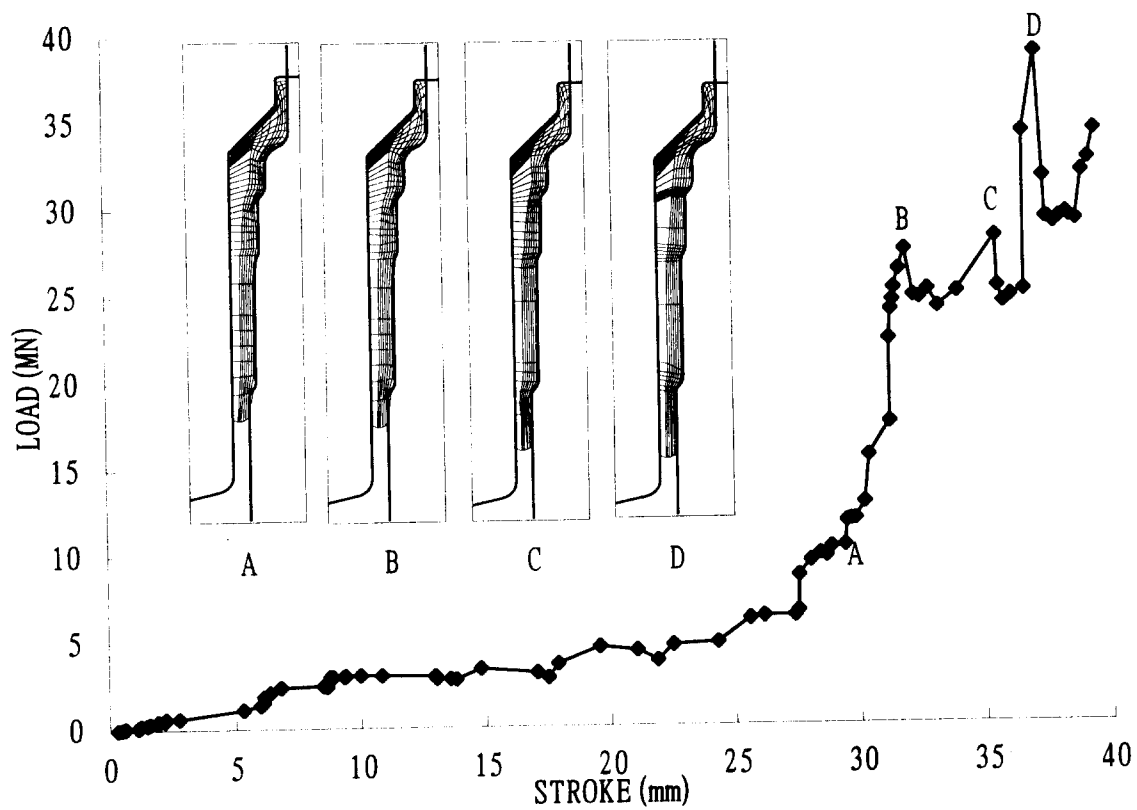


Fig. 10 Load-stroke relationships for final step operation