

# 후방 가압식 피어싱 및 중공축 압축 공법에 의한 난성형 재료 중공장축의 단조

전병윤<sup>1</sup> · 이진혁<sup>2</sup> · 엄재근<sup>2</sup> · 박정휘<sup>3</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Forging of Long Hollow Shafts of Hard-to-Form Material by Hollow Shaft Extrusion after Piercing with Back Pressing

B. Y. Jun, J. H. Lee, J. G. Eom, J. H. Park and M. S. Joun

### Abstract

We presented a special method of forging hollow shafts of hard-to-form material, which is composed of piercing with back pressing and hollow shaft extrusion. The presented method was applied to cold forging a bushing of an excavator. The finite element simulation technology was employed for developing the optimized process and the predictions were compared with the experiments. The method was also applied to an automotive part and was verified to be powerful for manufacturing the cold forged hollow shafts of the hard-to-form materials.

**Key Words** : Forging, Hollow Shaft, Extrusion, Piercing with Back Pressing, Finite Element simulation, Experiment

### 1. 서 론

중공축은 길이와 크기, 그리고 생산량에 따라 제조 방법이 다양하게 개발되어 있다. 중공 봉재를 절단하여 사용하기도 하고, 중실 봉재를 절단한 후 드릴링 작업으로 구멍을 뚫어 원하는 길이의 중공 봉재를 제조하기도 한다. 그리고 전후방 압축 후 피어싱 작업을 거치는 냉간 또는 열간 단조 공법으로 제작하기도 한다. 냉간단조 공법은 후속된 단조 공정과 연계가 가능하고 원소재 및 절단 비용을 절감시킬 수 있으므로 일정 규모 범위의 생산량에서 매우 유리하지만, 항상 타 공법에 비하여 유리한 것은 아니다. 제조 공법의 유효범리는 재료의 가격, 생산량, 제품의 요구성능, 장비의 자동화 정도 등의 직접적인 요인뿐만 아니라 노동 기피 등의 간접적 요인 등에 의하여 결

정된다. 이러한 요인으로 인하여 어떤 부품은 모든 공법의 유효범리가 공존하는 경우가 있다.

중장비 무한궤도의 부품 중, 부싱은 이러한 범주에 속하는 대표적인 것이다. 부싱의 형상이 단순하지만 직경에 비해 길이가 길고 극한 상황에서 연결고리 역할을 수행하기 때문에 고강도, 고내마모성을 요하며, 소재분야의 요소기술을 총체적으로 요구하는 부품이다. 국내의 경우, 생산량이 일본이나 이탈리아에 비하여 상대적으로 작기 때문에 최근까지만 하더라도 전적으로 기계가공에 의존해 왔으며, 최근에 일부 크기의 부싱의 열간단조 공정이 개발된 바 있다[1].

최근 소재비의 증가와 생산량의 증가로 부싱의 제조 공정 혁신을 위한 다각도의 방안이 모색되고 있다. 단조로 생산할 경우, 품질의 우수성은 인정되지만, 제조단가 측면에서 기존의 단조기술

1. 진 엔지니어링

2. (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터

3. 경상대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

로는 불리하다. 따라서 중공축의 단조 공법을 위한 특수 기술의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 난성형 재료로 분류되는 SCr440B 의 중공축, 즉 중소형 중장비의 트랙체인용 부싱을 냉간단조공법으로 생산하기 위한 새로운 제조공법을 제시하고 적용사례로 자동변속기용 자동차 부품의 제조 공법을 제시하고자 한다.

## 2. 후방 가압식 피어싱 및 중공축 압축 공법

Fig. 1 에 트랙체인용 부싱을 나타내었다. 이 부싱의 재료는 SCr440B 이며 냉간 단조성이 매우 나빠 일반적인 후방 압출 공법으로는 장축의 성형이 불가능하다. 따라서 원재료의 어닐링 처리, 윤활, 금형의 재질 선정 등도 중요하지만 후방 압출시의 흔들림으로 인한 펀치의 파손을 방지하는 것 또한 중요하다. 뿐만 아니라 설비의 에너지도 과다하게 소요되므로 대형설비를 필요로 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 2 에서 보는 바와 같이 후방 가압식 피어싱과 중공축 압출 공법을 제안한다. 이 공법은 총 2 공정으로 이루어져 있으며, 1 공정은 후방압출과 피어싱 동시공정으로 배압이 스프링 또는 유압에 의하여 부과된다. 2 공정은 전방압출공정으로써 비교적 길이가 긴 중공축을 성형한다.

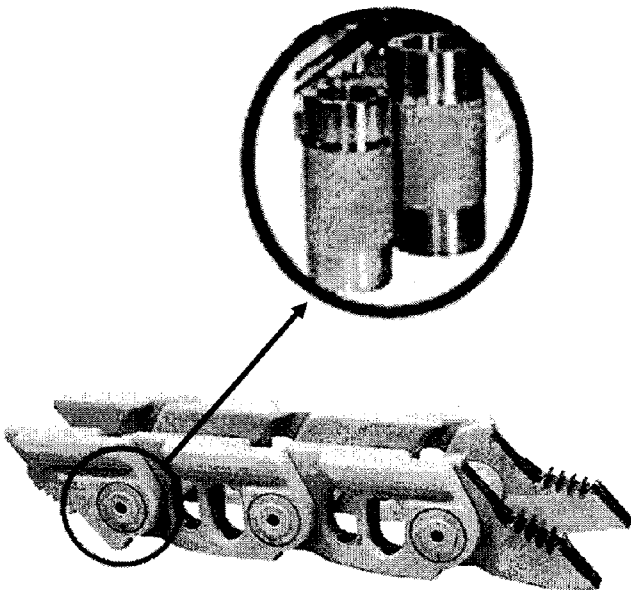
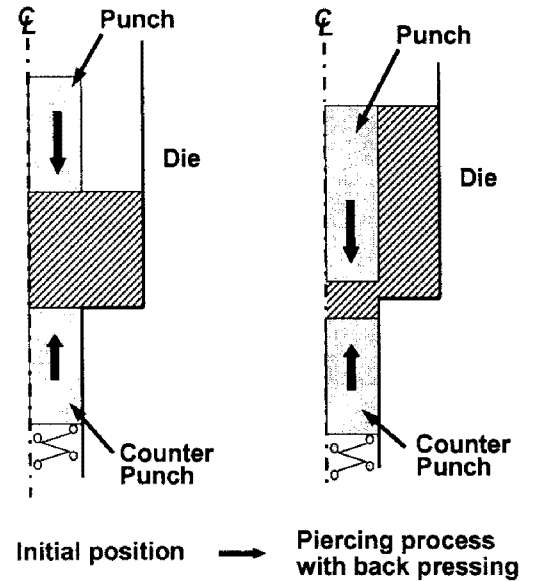
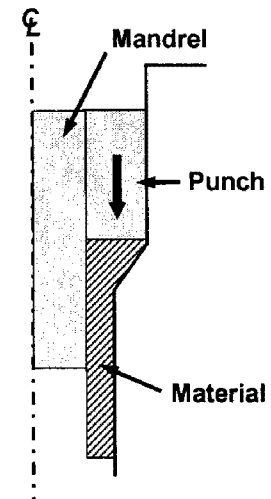


Fig. 1 Bushing for the track chain of an excavator



(a) Piercing with back pressing



(b) Hollow shaft extrusion

Fig. 2 Conceptual drawing of piercing with back pressing and hollow shaft extrusion

### 2.1 제 1 공정: 후방 가압 피어싱 공정

Fig. 2(a)에 후방 가압 피어싱 공정의 개념도와 Fig. 3 에 후방 가압 피어싱 공정의 상세도를 나타내었다. 후방가압 피어싱 공정은 Fig. 2 또는 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 전반부에는 소재의 외경부를 구속시킴으로써 후방 압출 공법으로 진행하다가 후반부에는 피어싱 공정으로 전환되는 후방압출과 피어싱의 복합공정이다. 이 때 후방 가압을 작용시킴으로써 소재의 손실을 최소화시킨다. 후방 가압은 카운터 펀치에 스프링을 설치하여 부과되거나 유압에 의하여 부과될 수 있는데 본 연구에서는 스프링을 사용하였다.

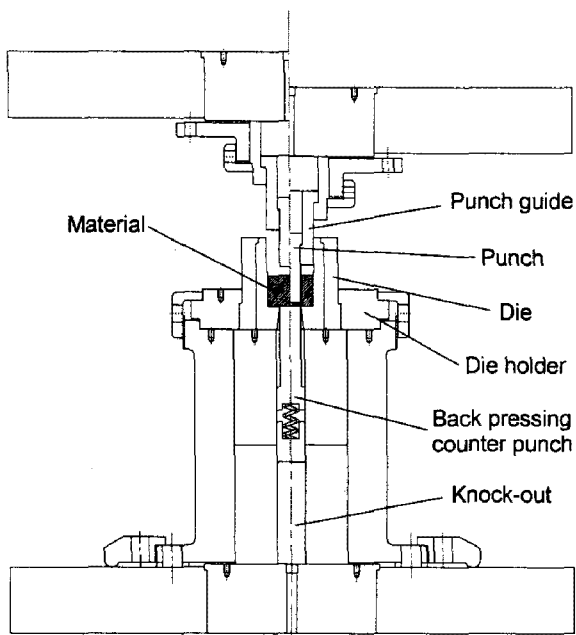


Fig. 3 Die and die set drawing for piercing with back pressing

Fig. 3 에서 보는 바와 같이 소재는 금형에 구속되어 있고 카운터 펀치는 스프링과 함께 조립되어 있다. 그리고 피어싱 시 동심도를 만족시키기 위하여 성형 전 가이드가 될 수 있도록 펀치, 가이드, 금형 등을 설계하였다. 펀치와 금형의 재질로 SKH51 을 채택하였으며, 펀치는 TiN 코팅을 실시함으로써 눌러 붙음을 방지하였고 내마모성을 향상시켰다.

이 공정에서 주요 고려 사항은 제품의 동심도이다. 동심도가 확보되지 않으면, 이 공정 자체로써도 문제가 되지만, 동심도가 좋지 않을 경우 후속된 2 공정의 전방 압출이 실패할 가능성이 크게 되기 때문에 제 1 공정인 후방 가압 피어싱 공정에서 제품의 동심도는 매우 중요하다. 따라서 일반적인 피어싱 공정과는 달리 금형 내부에 소재를 구속시키고 펀치와 금형 사이에 펀치 가이드를 설치하였다. 이렇게 함으로써 성형직전 펀치와 금형의 동심도가 만족되도록 하였다.

## 2.2 제 2 공정: 중공축 전방압출 공정

중공축 전방압출 공정의 개념도를 Fig. 2(b)에 나타내었으며, 상세 조립도를 Fig. 4 에 나타내었다. 중공축 전방압출 공정은 제 1 공정에서 피어싱된 소재를 전방압출함으로써 중공축을 성형하는 공정이다. 이 공정에서는 소재가 금형에 삽입되고

프레스가 작동되면 상부에 부착된 맨드렐이 소재에 먼저 삽입된 후 접촉되고 펀치가 금형에 의해 안내되면서 소재가 전방으로 압출된다.

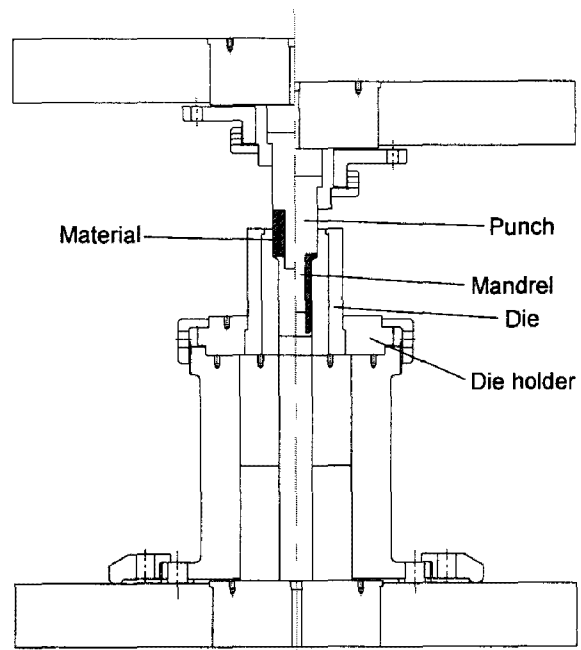


Fig. 4 Die and die set drawing for hollow shaft extrusion

중공축 압출 시 동심도를 만족시키기 위하여 성형 전 가이드가 될 수 있도록 맨드렐, 가이드, 금형 등의 설계에 세심한 주의가 요구된다. 맨드렐과 금형의 재질로 SKH51 을 채택하였다. 맨드렐의 눌러 붙음 방지 및 내마모성 향상을 위하여 TiN 코팅을 실시하였다.

본 연구에서 1 차 적용 대상으로 삼고 있는 중장비 트랙체인용 부상 재료는 SCr440B 이며, 냉간 단조성이 나쁘기 때문에 일반적인 후방 압출 공법으로는 장축의 성형이 불가능하다. 따라서 후방 가압 피어싱으로 성형된 소재를 이용하여 중공축 전방 압출공법으로 생산하는 것이 유리하다. 중공축 전방 압출 시 전 공정의 피어싱 동심도가 매우 중요하고 열처리, 운할 기술 또한 고려되어야 할 사항이다. 특히 금형과 맨드렐의 눌러 붙음 방지를 위한 재질 선정 및 금형 제작 기술이 필요하다.

일반적으로 전방압출 공정을 개발할 때는 단면 감소율, 변형속도 비, 운할상태, 원소재의 플립상태, 정밀도 등을 고려해야 하고, 특히 중공축일 경우 직경대비 길이 비를 고려해야 한다. Fig. 4

에서 보는 바와 같이 펀치부에 멘드렐이 부착되어 있다. 힘을 크게 받는 부위는 아니지만 제품 성형 후 상형의 상승 시 제품이 멘드렐에 붙어서 올라가는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 문제는 멘드렐의 형상설계 및 마찰 저항 감소를 위한 TiN 코팅 등을 통하여 해결하였다.

### 3. 적용 예제

#### 3.1 내부 단이 없는 중공축의 단조 - 중장비 트랙체인용 부싱

본 연구에서는 전술한 특수공법을 부싱 제품의 상당 부분을 차지하는 120mm 급을 적용 대상으로 선택하였다. 이 제품을 위하여 개발된 후방 가압 피어싱 공정과 중공축 전방 압출 공정의 공정도를 Fig. 5에 나타내었다. 소재는 SCr440B이며, 구상화처리를 실시하였다. 소재의 표면은 윤활처리되었으며, 초기 성형시 펀치 파손 및 마모를 줄이기 위하여 극압 첨가제(MoS<sub>2</sub>)를 펀치 선단면에 도포하였다.

Fig. 5의 공정에 대하여 공정 최적화의 목적으로 단조 시뮬레이터 AFDEX2D [2]를 이용하여 공정 해석을 실시하였다. 공정해석에 사용된 조건은 다음과 같다.

- 유동응력:  $\bar{\sigma} = 1035.0 \bar{\epsilon}^{0.11}$  MPa
- 쿨롱마찰계수: 0.05

Fig. 6과 Fig. 7에 해석결과, 즉 소성유동선과 유효변형률의 분포를 나타내었다.

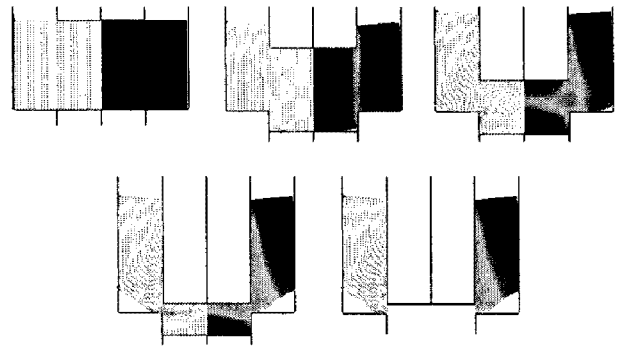


Fig. 6 Finite element predictions of the first stage

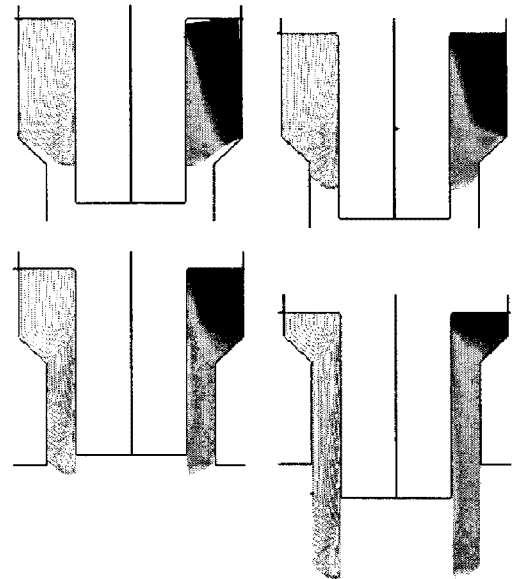


Fig. 7 Finite element predictions of the second stage

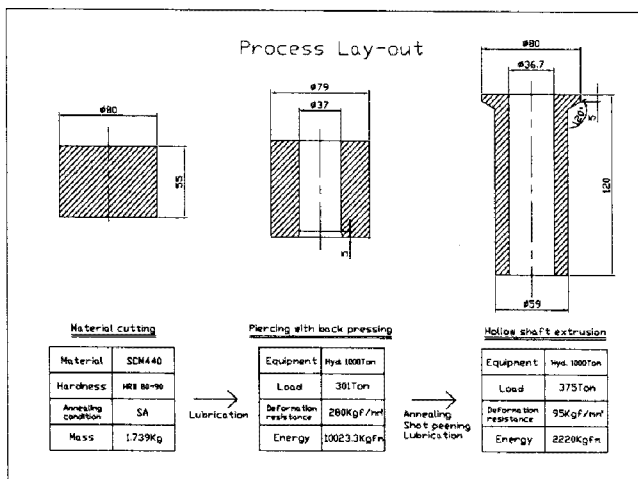


Fig. 5 Process layout

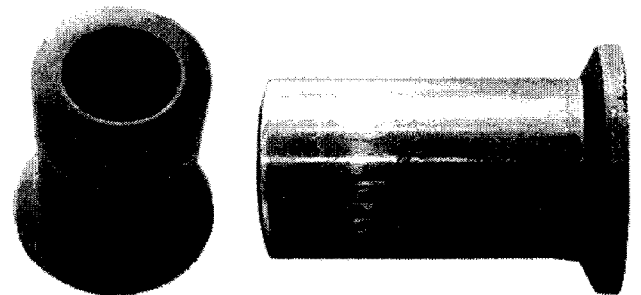


Fig. 8 Experiment

Fig. 8에 시험생산된 제품을 나타내었다. 이 제품은 Fig. 7의 해석 결과와 형상 측면에서 잘 일치하고 있다.

### 3.2 내부 단이 있는 중공축의 단조 - 자동 변속기용 자동차부품

본 예제는 3.1 절에서 설명한 내부 단이 없는 중공축의 단조 기술을 응용한 사례이다. 제품의 형상과 중공축 전방 압출 공정의 공정도를 Fig. 9 에 나타내었다. 소재는 SCM420 이며, 구상화처리를 실시하였다. 소재의 표면은 윤활처리 되었으며, 초기 성형시 편치 파손 및 마모를 줄이기 위하여 극압 첨가제(MoS<sub>2</sub>)를 편치 선단면에 도포하였다.

공정의 최적설계를 위하여 유한요소해석을 실시하였으며, 해석 조건은 다음과 같다.

- 유동응력:  $\bar{\sigma} = 757.0\bar{\epsilon}^{0.2}$  MPa
- 쿨롱마찰계수: 0.05

유한요소해석 결과를 Fig. 10 과 Fig. 11 에 나타내었으며, Fig. 12 에 시험생산결과를 비교하고 있다.

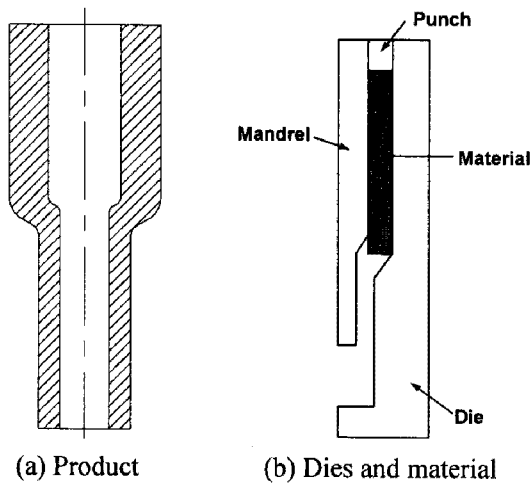


Fig. 9 Geometries of dies, material and product

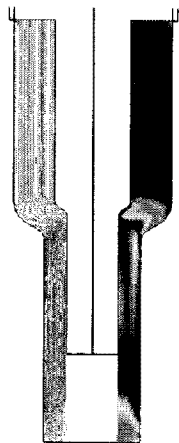


Fig. 10 Predictions of metal flows and effective strains

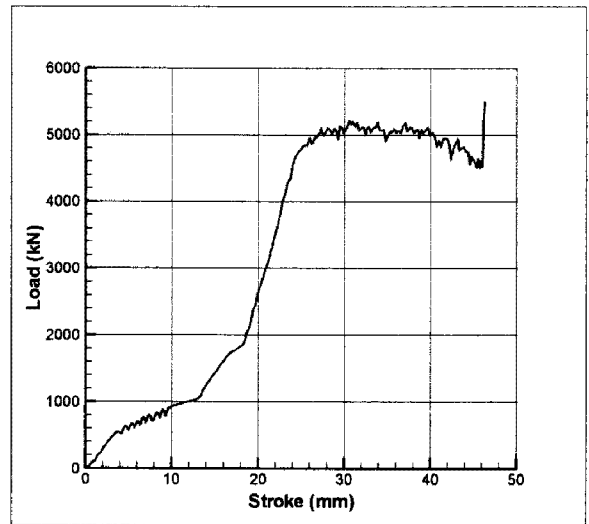


Fig. 11 Forming load variation

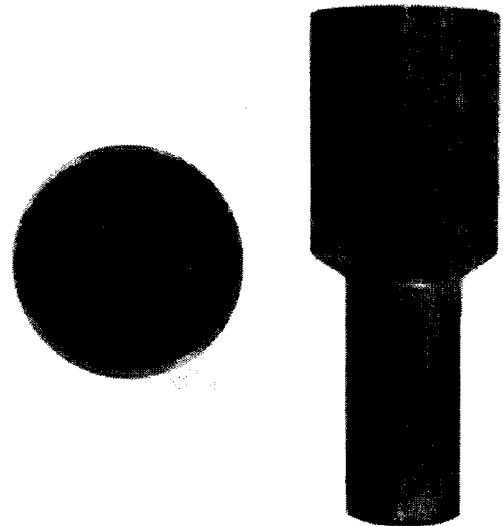


Fig. 12 Experiment

## 4. 결론

본 논문에서는 비교적 길이가 긴 중공축의 특수 단조 공법을 제시하였으며, 이 신공법을 이용하여 중장비 트랙체인용 부싱의 단조와 자동변속기용 자동차부품의 단조에 성공적으로 적용하였다.

적용 예제를 통하여 제시된 신공법의 적용 가능성이 충분하게 입증되었다. 특히 단조성이 좋지 못한 소재의 중공축 제조에 유리하다고 판단된다.

제시된 공법은 재료의 실수율 제고 측면에서 확고한 경쟁력을 확보하고 있으며, 실공정 적용 과정에서 발생할 수 있는 문제들은 경험 기술로 충분히 극복이 가능하다는 것을 시험생산을 통하여 확인하였다. 특히 단조 단의 수를 최소화시켰으므로

다품종소량생산 목적의 중공축의 생산에 적합하다고 사료된다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었으며, (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터의 장비를 활용하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 연구보고서, 온간폐쇄단조를 이용한 중장비 트랙체인용 부싱 제조기술의 개발, 진산금속, 2006
- [2] 경상대학교 소성가공 CAE 연구실 홈페이지: <http://engine.gsnu.ac.kr/~msjoun/>