

## 압하율에 따른 기공압착 거동에 관한 실험적 연구

최익준<sup>1,2</sup>, 최호준<sup>2</sup>, 박훈재<sup>2</sup>, 최석우<sup>2</sup>, 정택우<sup>3</sup>, 박동규<sup>4</sup>, 최성규<sup>4</sup>, 임성주<sup>#</sup>

### An Experimental Study on Void Closure Behavior with respect to Reductions in Height

I. J. Choi, H. J. Choi, H. J. Park, S. Choi, T. W. Jung, D. K. Park, S. K. Choi, S. J. Lim

#### Abstract

In this work, closing behavior of the voids generated in a casting process was investigated for various parameters such as reductions in height, void size and billet rotation during hot open die forging process. The reduction in height and path schedule including the number of paths and billet rotation were chosen as key process variables to express the change of geometrical void shape and void closing behavior. On the other hand, values of die overlapping and die width ratio were set to be constant. Extend of void closure was observed and evaluated using tensile test and microscope. Based on the experimental result, it is ensured that void closure do not occur at 15% and 30% reduction in height as well as one or two rotations of a billet. The useful datum obtained from this study could be utilized to establish an optimum path schedule in the open die forging process.

**Key Words** : Hot Open Die Forging, Void, Manipulator, Reduction in Height

#### 1. 서 론

최근 선박, 자동차, 항공 등의 운송기계 산업 뿐 아니라 풍력 에너지와 일반 기계산업의 대형화, 정밀화, 경량화 및 원가절감의 추세에 따라 소성가공의 대표적인 공정중의 하나인 단조기술이 대두되고 있다. 또한 지구 온난화로 인한 환경 문제와 화석 에너지 고갈로 인한 원자재 값 상승 그리고 대대적인 경제불황으로 인하여 제품 제조 시 공정 단순화 및 환경 친화적 소재에 대한 고려가 불가피하게 되었다. 따라서 기존 원자재가 지닌 문제점을 감소시킬 수 있는 청정소재 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대형 Ingot의 단조공정 개발 또한 이와 같은 산업동향에 따라 이루어지고 있다[1].

대형 Ingot의 자유단조 공정은 공정간 발생하는 주조 조직을 제거하고 주조 시 발생하는 기공을 압착 제거하며 편석을 소멸시키면서 최종 제품의 형상에 가깝게 만들기 위한 목적으로 Upsetting 및 Cogging과 같은 단련공정을 실시한다. 그러나 현재까지도 정량적인 근거 없이 과거 지속되어 왔던 현장 경험자의 기술적 노하우에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 비효율적인 작업이 지속되고 있으며 공정개선을 위해 이론적 배경에 따른 정량적 데이터 구축이 절실히 요구되고 있다[2].

본 논문에서는 단련공정 시 압하율, 기공크기, 회전 각도에 따른 기공압착 거동을 분석하여 제시함으로써 현장에서 최적의 작업 계획을 수립하거나 그에 준하는 자료로써 활용하고자 하는데 그 목적이 있다 할 수 있겠다.

1. 인하대학교 대학원 금속공학과

2. 한국생산기술연구원

3. 한국기계연구원부설 재료연구소

4. ㈜ 케이에스피

# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail:lim@kitech.re.kr

## 2. 기공압착 실험

### 2.1 실험 준비

실제 대형 Ingot을 사용하여 단련공정 변수에 따른 기공압착 거동 예측 실험을 수행하기 위해서는 초고압 프레스 기기와 시편을 예열할 수 있는 가열로 등의 장비가 요구되지만, 본 논문에서는 장비사양 및 시험 조건의 제약으로 인해 축소 시험편을 사용하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 소재는 현장에서 일반적으로 널리 쓰이는 탄소강 단강품용 강편이며, 단조 시험편의 치수와 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1과 같이 기공은 드릴 가공을 이용하여 생성하였으며 실험 결과의 검증을 위해 각각의 시험편에 대해  $\Phi 5(10\%)$ ,  $\Phi 4(8\%)$ ,  $\Phi 3(6\%)$ 으로 초기 기공비율에 대한 차이를 두어 실험을 수행하였다.

또한 결과에 영향을 줄 수 있는 기공 부위의 산화 및 가스층 생성을 방지하고자 시험편과 동일한 소재를 이용하여 기공 부위에 기공의 직경보다 큰 Pipe를 용접하여 부착하였다. 그리고 Fig. 2와 같이 Gast Vacuum Pump(DOA-P704-AA)를 이용하여  $10^{-3}$  Torr(중 진공)의 진공상태를 유지한 후 압착하여 실험의 정확성을 향상하였다.

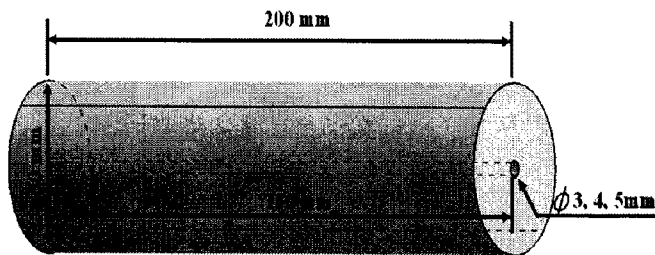


Fig. 1 Dimension of as received sample

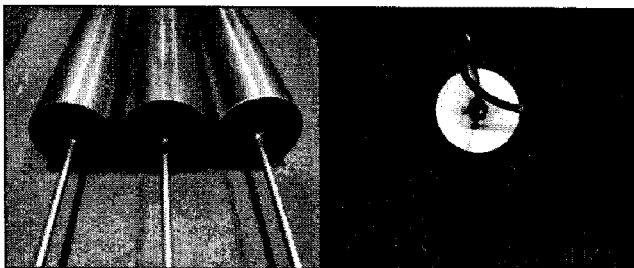


Fig. 2 Prepared specimens after the vacuum process

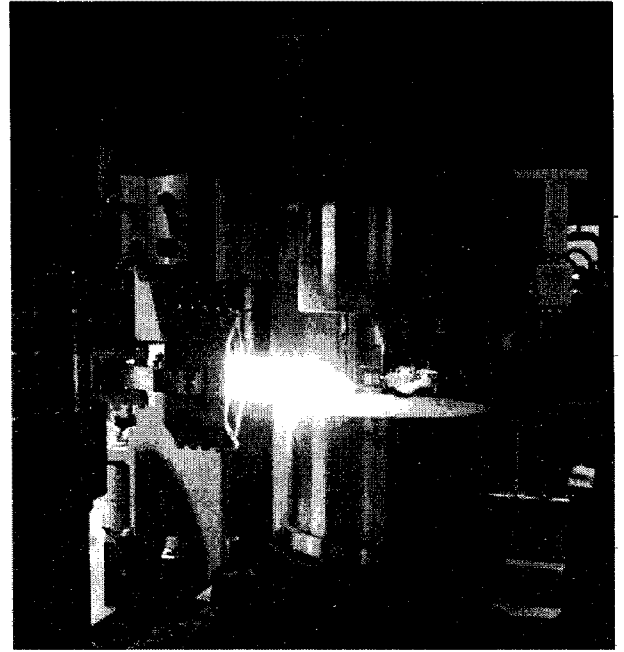


Fig. 3 The feature of hot open die forging using the Manipulator

Fig. 3은 실제 열간 자유단조 실험 시 사용된 800 Ton 유압 서보 모터 프레스를 나타내었으며, 소재의 이송 및 원활한 단조 실험을 위해 머니플레이터(다자유도 핸들링 시스템)를 사용한 것을 볼 수 있다.

단련공정의 공정변수는 Table 1과 같이 압하율(reduction in height)과 패스 공정(Path schedule) 및 회전각도(Rotation)의 변수에 따라 실험을 실시하였으며 또 다른 변수로 작용될 수 있는 금형 겹침량과 금형 폭비는 고정된 상태에서 실험을 진행하였다[3].

Table 1 parameters used in open die forging for void-closure

Item	Values
Void sizes	$\Phi 3(6\%)$ , $\Phi 4(8\%)$ , $\Phi 5(10\%)$
Reduction in height	15%(7.5mm), 30%(15mm), 45%(22.5mm)
Rotation	$0^\circ$ , $90^\circ$

## 2.2 실험 결과

기공 비율과 압하율 및 회전각도에 의한 패스 공정에 따라서 단조 실험 후 그에 따른 기공의 압착 거동에 대하여 다음과 같은 방법으로 분석하였다. 우선 Video Microscope IT System 장비를 사용하여 기공의 형태 및 크기를 비교 분석하였으며 Fig. 5, 6에서 보는 바와 같이 각각 기공비율  $\phi 5(10\%)$ ,  $\phi 4(8\%)$ ,  $\phi 3(6\%)$ 에서 압하율 15% 및 1, 2 패스 공정 후, 압하율 10%인 조건의 단련공정 후의 시험편에 기공이 폐쇄되지 않음을 거시적으로 확인할 수 있었다. Fig. 5, 6에서 확인할 수 있듯이 압하율 15%의 공정에서와 같이 기공이 완전히 폐쇄 되지 않은 상태에서 회전각도(Rotation)를 주어 패스 공정에 따른 단련공정을 진행하였다 하더라도 기공 압착이 이루어 지지 않고 다시 벌어지는 현상을 확인할 수 있었다.

또한 본 실험의 기공 압착 정도를 증명하기 위해 MTS-810 장비를 사용하여 인장시험을 수행하였고 시험 조건으로는 Strain rate  $0.01s^{-1}$  이며 상온에서 시험을 진행하였다. 압하율에 따라 소재의 강도 변화가 예측 되므로 단련공정 후에 Fig. 4와 같은 형상과 크기로 인장 시험편을 제작하였다.

또한 인장 시험편을 채취한 부위는 소재에서 기공 압착이 일어날 수 있는 소재 중심부를 택하였으며 이를 통해 기공 압착에 대한 폐쇄정도를 예측할 수 있었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 동일한 압하율에서 기공크기 비율에 따른 강도의 차이점을 확인할 수 있었고 Fig. 5, 6과 같이 기공 폐쇄가 이루어지지 않은 단련공정의 시험편들은 단련하지 않은 소재의 강도보다 낮음을 확인할 수 있었다. 따라서 인장시험 시 시험편에 잔재하고 있는 기공에 의해 파단이 이루어진 것으로 사료된다. 이는 단련공정 중에 기공 압착이 이루어지지 않고 두 개의 계면으로 나뉘어져 있음을 나타낸다.

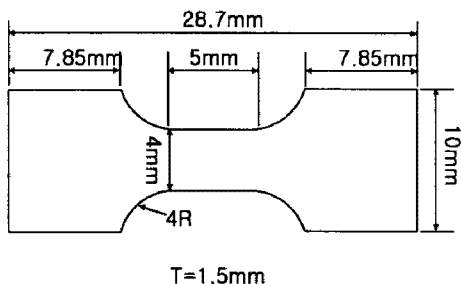


Fig. 4 Specimen for tensile test

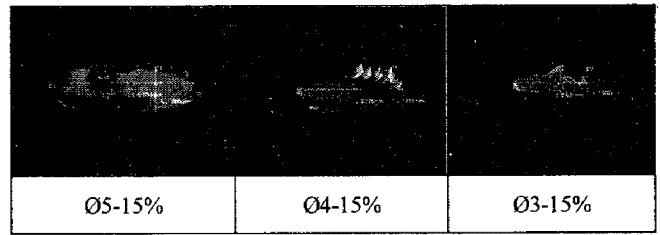


Fig. 5 Change of void shape with respect to reduction in height

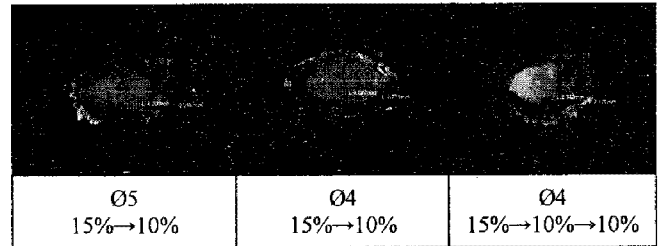


Fig. 6 The transformation of void shape with respect to rotation and path schedule of the sample

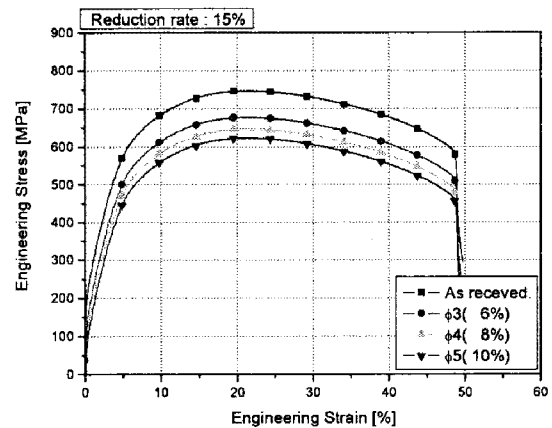


Fig. 7 Tensile test with respect to by various void sizes

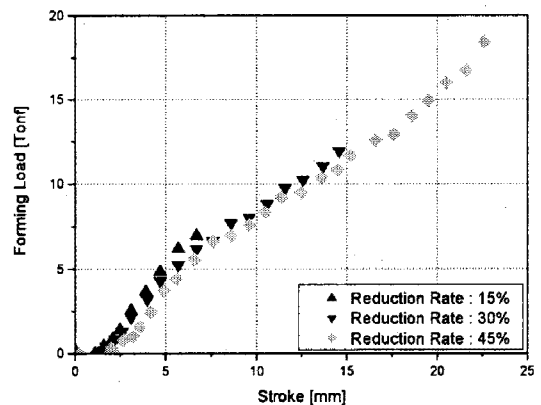


Fig. 8 Forming Load - Stroke relationship with respect to reduction in height

또한 실제 실험에 사용 된 800 Ton 유압 서보 모터 프레스의 유압 압력 gage를 통하여 압하율에 따른 성형하중선도를 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 압하율에 따라서 하중이 증가함을 확인할 수 있었다.

### 3. 결 론

기공비율에 따른 금형 겹침량과 금형 폭비를 고정된 상태에서 압하율, 기공크기 및 회전 각도에 따른 실험으로 인한 기공압착 거동에 대해서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 예측한 바와 같이 압하율에 따라 기공의 크기가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

(2) 기공크기 비율에 따라 인장강도의 차이를 확인할 수 있었고 단련하지 않은 소재와의 비교로 기공의 폐쇄 여부를 증명할 수 있었다.

(3) 단련공정 시 압하율에 따라서 성형하중이 증가함을 알 수 있었다.

(4) 기공크기 비율에 관계없이 압하율 15% 및 1, 2 패스 후 압하율 10% 공정에서는 기공이 폐쇄되지 않는 것을 본 논문의 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

### 4. 향후 계획

압하율에 따른 기공거동 예측에 있어 정확한

검증을 위해 광학현미경 및 주사전자 현미경을 사용하여 미세조직과 기공 압하 부위의 관찰을 진행할 것이며 기공 압하 부위에서의 기공 닫힘 여부를 경도 실험을 통하여 검증할 것이다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부의 청정생산기술개발사업 (08-CT-2-0006)의 일환으로 진행 되었습니다. 아울러 실험에 도움을 주신 KIMS 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 임성주, 2008, 청정생산기술개발보급사업 청정생산기술개발, (대형 잉곳의 단조합리화를 위한 Near Net Shape 성형기술 개발), 1차년도 보고서, 지식경제부
- [2] 박치용, 조종래, 양동열, 김동진, 박일수, 1992, 대형강괴 업셋팅공정의 기공압착 해석, 대한기계학회, 대한기계학회 논문집, 제16권 제10호, pp. 1877 ~ 1889
- [3] 최호준, 최석우, 윤덕재, 정진호, 백동규, 최성규, 박훈재, 임성주, 2008, 단강품 기공의 압착성 향상을 위한 레이디얼 단련변수의 영향, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 67~70