

## 단강품 기공의 압착성 향상을 위한 레이디얼 단면변수의 영향

최호준<sup>1</sup>· 최석우<sup>1</sup>· 윤덕재<sup>1</sup>· 정진호<sup>2</sup>· 백동규<sup>3</sup>· 최성규<sup>3</sup>· 박훈재<sup>1</sup>· 임성주<sup>#</sup>

## Effect of Radial Parameters in Cogging Process on Void Closure for Large Forged Products

H. J. Choi, S. Choi, D. J. Yoon, J. H. Jung, D. K. Baek, S. K. Choi, H. J. Park, S. J. Lim

### Abstract

This paper deals with the effect of radial parameters in cogging process such as reduction in height ( $Rh$ ) and rotational angle ( $\theta$ ) of a billet on a void closure for large forged products. Usually closing and consolidation of internal void defects in a ingot is a vital matter when utilized as large forged products, using a press with limited capacity and the sizes of the ingots becoming larger. Consequently, it is important to develop cogging process for improvement of internal soundness without a void defect and cost reduction by solid forging alone with limited press capacity. For experiments of cogging process, hydraulic press with a capacity of 800 ton was used together with a small manipulator which was made for rotation and overlapping of a billet. Size of a void was categorized into two types;  $\varnothing$  6.0 mm and  $\varnothing$  9.0 mm to investigate the change of closing and consolidation of void defects existed in the large ingot during the cogging process. Also open void and closed void in the ingot were tackled to show the differentiation of closing process of internal voids with respect to void sizes. In this paper systematic configuration for closing process of void defects were expressed based on this experiment results in the cogging process.

**Key Words :** Free Forging, Cogging Process, Radial Parameters, Void Closure, Manipulator

### 1. 서 론

레이디얼 포징(radial forging, RF)은 현재까지도 국내에서 공학적 용어로써 정확하게 정의되어 있지 않으며, 보통은 반경단조[1], 반향단조 또는 방사단조라 일컫는다. 이러한 레이디얼 포징은 열간 또는 냉간에서 주로 긴 소재(cast billet, ingot etc)의 단면 직경을 줄이기 위하여 이용하며, 전체 소재 길이를 따라서 변형순서가 정해지고 이에 따라 단면감소를 단계적으로 얻어내는 점진 성형공정(incremental process) 중에 하나이다. 레이디얼 포징 중에서 스웨이징 공정(swaging process)이나 코킹

공정(cogging process) 등이 대표적 공정이라고 하겠다.

코킹공정은 스트레칭 공정(stretch process)[2]라고도 불리며 소재를 반경 또는 반지름방향(radial direction)으로 성형시키는 단조공정(forging process) 중에 하나로써 단면형상을 줄이고 길이는 증가시키는 공정이다. 코킹공정은 일반적으로 자유단조(free forging)에서 수행되며, 평평한 앤빌(plane anvils) 또는 단순한 앤빌을 이용하고 상대적인 두 개의 금형사이에 소재를 위치시켜 성형시키며 양쪽 금형은 성형되는 소재의 상대적 모양을 갖게 하면 된다. 보통 코킹공정은 대형제품을 위한 임

1. 한국생산기술연구원  
2. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
3. 쿠케이에스피

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

곳의 주조조직 파괴 및 잉곳에 존재하는 공극의 압착을 위한 단련공정으로 편석을 소멸시키면서 최종 제품이나 필요로 하는 중간재의 형상에 가깝게 만드는 공정으로써 주로 사용하고 있다. 열간에서 이루어지는 코강공정은 단조제품들의 크기, 형상 및 재질 등의 다양한 특성에 따라 많은 공정변수들이 복합적으로 작용하고 있어 연구[2-4]에 어려움이 존재한다.

코킹공정과 관련된 변수들로는 중간재 형상(Workpiece shape), 금형 형상(die shape), 금형 폭비(die width ratio), 금형 겹침(die overlapping)과 엇갈리기(die staggering), 소재의 온도구배, 압하량(reduction in height), 패스 스케줄(path schedule) 및 압하속도(ram speed) 등이 있다. 이 중에서도 본 논문에서는 기공의 압착에 가장 많은 영향을 미친다고 알려져 있는, 소재의 반지름 또는 반경 방향으로 변형을 가하는 변수들인 압하량 및 소재 회전각도, 금형 겹침이 기공의 압착성에 미치는 영향에 대하여 분석해보고자 하였다.

## 2. 실험 준비

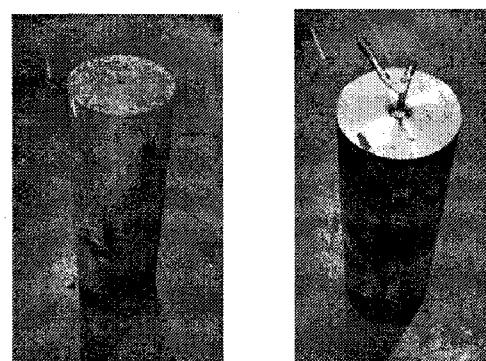
## 2.1 변수 설정 및 속재준비

레이디얼 단련변수의 기공압착에 대한 영향을 알아보기 위한 실험용 소재(billet)로 AISI 1020을 사용하였으며, 소재의 중심부에 기공을 대신하여 지름 Ø 6.0과 Ø 9.0 mm 의 두 가지로 정하여 가공 하였으며, 개기공(open void)에 따른 실험은 대기 중에 노출된 상태로, 폐기공(closed void)에 따른 실험은 기공의 노출부위를 용접하고 기공의 가공 부위로부터 진공을 만들어 입구를 폐쇄하였다.

Table 1에는 기공압착을 위한 코팅공정 실험수행에 따른 공정변수를 모두 나타내었다. 기공압착을 위한 중요 변수 중에 하나인 금형폭비는 실험

**Table 1** Process parameters used in the experiment

Items	Specification
Billet (mm × mm)	Ø 100 × 300
Size of a void (mm)	Ø 6.0, Ø 9.0
Type of a void	Open, closed
Reduction in Height ( $R_h$ , %)	20, 30, 40, 50
Rotation of a billet ( $\theta$ , °)	0, 90
Die width ratio ( $W/H$ )	0.8 (W = 80.0 mm, H = 100.0 m)



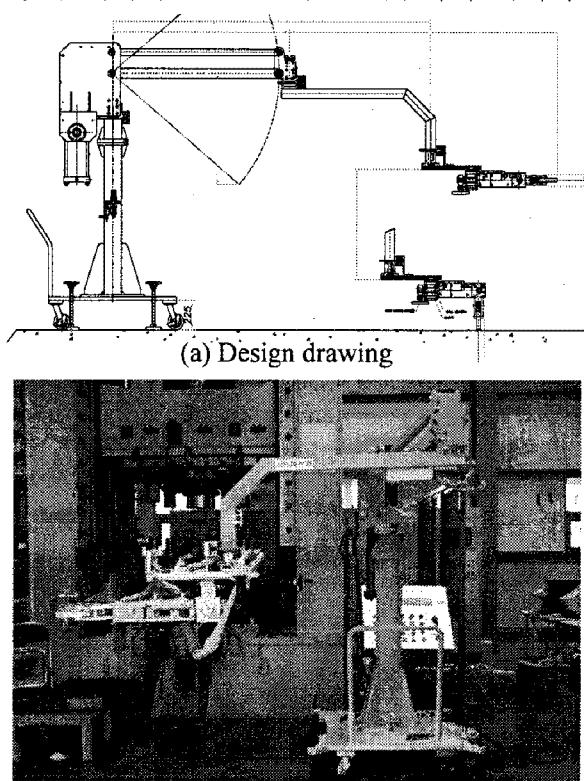
(a) Open void (b) closed void

**Fig. 1** Two types of void shape

의 효율성을 위하여 0.8로 고정하였으며, 압하량은 소재의 표면크랙이 발생하지 않는 범위에서 4가지로 나누어 실험하였다. Fig. 1에서는 소재상태를 사진으로 보여주고 있으며 (a)는 개기공의 경우를, (b)는 진공을 만든 후 용접으로 막은 폐기공의 경우를 나타낸다.

## 2.2 머니퓰레이터(Manipulator) 설계/제작

앞에서 언급하였듯이 단련공정에서의 중요변수들로 금형겹침, 소재의 회전(rotation), 금형 엇갈리기 등의 레이디얼 단련변수를 실험하기 위해서는



**Fig. 2** Manipulator for rotation, overlapping and staggering of a billet

보조장치가 필요하다. 실제 대형 잉곳의 단련공정(upsetting & cogging process)을 위해서도 지게차에 보조 장치를 설치하여 잉곳을 다루던지 또는 자동화 장치로써 대형 머니퓰레이터(manipulator)를 사용한다. 따라서 본 실험에서도 레이디얼 단련변수인 압하량, 금형 겹침 및 엇갈리기, 소재의 회전 등을 위하여 800 ton 유압 서보 프레스의 크기에 부합하도록 머니퓰레이터를 설계하여 제작하였고 이를 위한 설계도면과 제작한 정면도 사진을 Fig. 2에 나타내었다.

### 3. 결과분석

#### 3.1 레이디얼 단련변수에 따른 기공 폐쇄

4 가지의 압하량, 두 개의 기공크기 및 소재의 원위치( $0^\circ$ ) 및  $90^\circ$  회전의 레이디얼 단련변수들에 변화에 따라 머니퓰레이터를 이용하여 코깅공정 실험을 수행하였다.

Fig. 3 (a)에서는 잉곳직경의 약 6% 정도의 기공을 가정하여 구멍을 가공한 것으로 기공크기

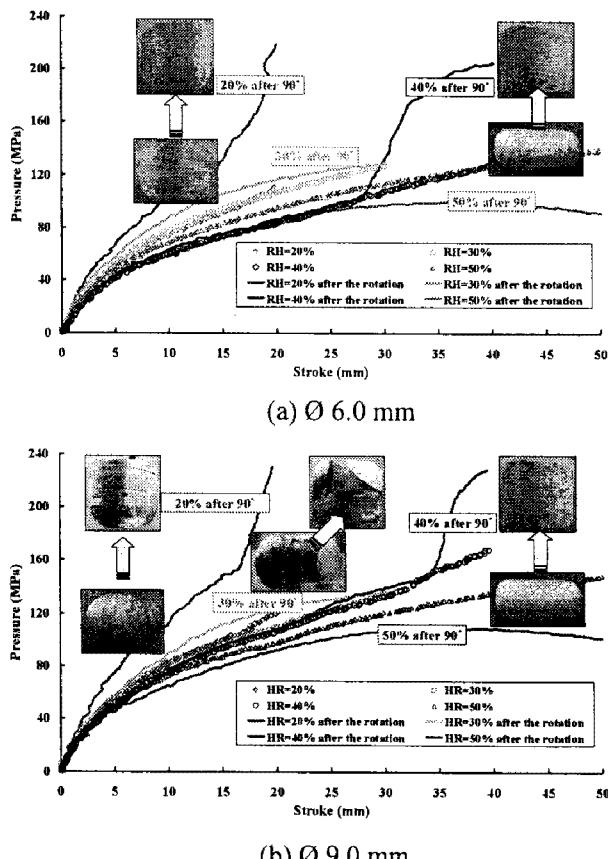


Fig. 3 Analysis of Load-stroke relationship with respect to radial parameters in the cogging process on void closure

$\varnothing 6.0$  mm 인 경우로써, 압하량 및 회전각도 변화에 따라서 유압프레스의 하중선도를 분석한 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 압하율이 20% 인 경우에 기공  $\varnothing 6.0$  mm 는 압착되었다가  $90^\circ$  회전시켜 다시 압하율 20% 를 가하게 되면 압착되었던 기공이 다시 벌어지는 현상이 발생하고 있음을 사진을 통해 알 수 있다. 이때 하중이 급격히 증가하게 되는데, 압착되었던 기공의 계면을 다시 떨어뜨리는데 소요되는 에너지 때문에 하중이 증가하는 것으로 예측된다. 또한 압하율이 40% 인 경우  $90^\circ$  회전시켜 다시 압하율 40% 을 가하게 되면 하중이 급속히 증가하게 되는데 이때는 기공 압착과정에서 두 개의 계면이 접합(bonding)되는 것으로 판단된다.

Fig. 3 (b)의 경우는 기공크기가  $\varnothing 9.0$  mm 인 경우로써, (a)의 경우처럼 20%, 30%, 40%, 50% 의 압하율을 적용하고 소재를  $90^\circ$  회전시켜 각각의 압하율을 소재에 다시 부여하였다. 기공의 크기는 대형 잉곳의 직경 대비 약 9% 정도의 기공을 대별하는 경우로 일상적으로 대형 주조 잉곳 제조과정에서 많이 발생할 수 있는 크기의 것이다.

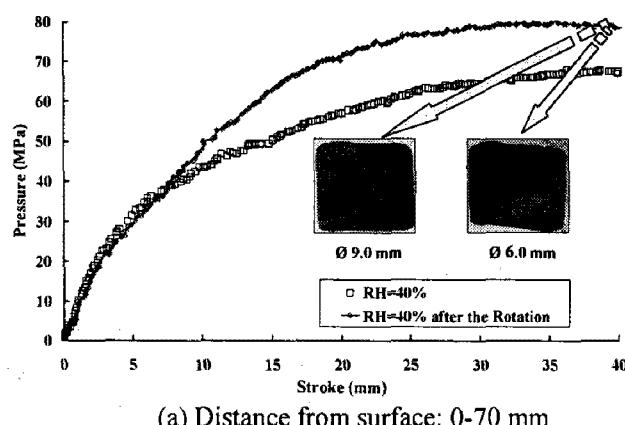
압하율이 20% 와 30% 의 경우 소재의  $90^\circ$  회전에 따라 기공의 압착이 완료되지 않은 상태에서 다시 기공이 벌어지는 현상이 발생하였다. 기공이  $\varnothing 6.0$  mm 인 경우의 압하율 30% 일 때는 소재의  $90^\circ$  회전에도 기공 압착이 다시 넓어지지 않았다. 물론 이 경우에 있어서 기공압착을 통해 두 개의 계면이 접합되어 있다고 판단하기에는 사진만으로 부족하므로 조직상태 등의 좀 더 상세한 분석들이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 압하율 40% 인 경우의 행정-하중곡선은 기공  $\varnothing 6.0$  mm 일 때의 같은 압하율과 매우 유사한 형태를 띠고 있다. 예측하건대 잉곳 직경의 약 9% 정도의 기공이 존재하는 경우, 압하량 40% 을 한방향으로 단련하고 소재에 부가한 후 다시  $90^\circ$  회전시켜 다시 같은 압하량을 가하게 되면 기공 압착의 최종 목표인 접합이 일어나고 있다고 하중곡선의 변화를 통해 판단할 수 있다. 일반적으로 기공이 압착되어 후공정에서 결함으로 작용하지 않으려면 충분한 압하율을 소재에 부여하는 것이 적당하지만 프레스 장비의 용량, 볼스터(bolster) 및 앤빌의 크기 등에 따라서 충분한 압하율을 가하지 못할 때 지금의 경우처럼 소재에 회전과 압하율을 부여하게 되면 기공의 반대 쪽 두 개의 계면이 확산접합을 통해 하나의 면으로 형

성되어 기공결함이 후공정에서 불량원인으로 나타나지 않게 될 것이다.

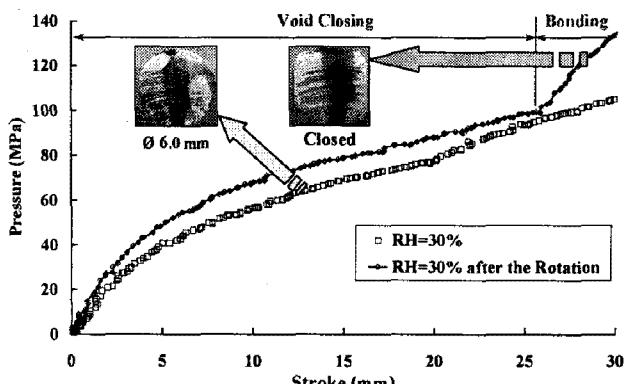
### 3.2 개기공의 폐쇄

주조된 대형 잉곳에는 주로 내부에 기공이 생성되며, 편석 등의 결함이 존재하므로 이의 제거를 위해 단련공정을 진행한다. 물론 제품에 따라 소정의 단조비를 요구하는 것들도 존재하므로 이것을 위해서도 업세팅 및 코킹 공정이 필요하다고 하겠다. 그러나 일부 기공들은 외부로 노출되어 표면에 나타날 수 있으며 이러한 기공을 개기공이라 칭하고 소재 내부에 존재하는 기공을 폐기공이라 하여 기공을 두 가지로 분류하고 이것들의 폐쇄과정을 분석하여 차이점을 단련공정 실험을 통해 알아보고자 하였다.

Fig. 4 (a)는 개기공 Ø 6.0 mm 인 경우의 성형하중 곡선으로 압하율 40%를 적용하고 소재를 90° 회전시켜 다시 40%를 소재에 부가한 경우이다. 두 경우 모두 개기공의 폐쇄는 발생하고 있지 않다. Fig. 4 (b)의 경우는 (a)의 경우보다 안쪽에 위치해 있는 개기공으로써 개기공이 열려있는 표면으로



(a) Distance from surface: 0-70 mm



(b) Distance from surface: 70-140 mm

Fig. 4 Load-stroke relationship in case of two forms of a void

부터 충분히 멀리 떨어져 있어 가열된 후 단련공정을 거치면서 내부 기공처럼 압착 후 두 계면의 접합을 형성하는 과정을 하중곡선의 분석을 통해 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 코킹공정에서 반경방향에 관련한 공정변수들 즉, 압하량, 기공형태, 소재 회전각 등에 관하여 다루었으며, 이들 변수가 기공폐쇄에 미치는 영향을 분석하였다.

(1) 기공폐쇄는 압하량의 증가에 따라 비례하여 확산기구에 의한 접합이 발생하며, 소재가 90° 회전함에 따라서도 기공압착의 과정이 진행되고 있음을 알 수 있었다.

(2) 기공의 크기에 따라 압착효과의 차이는 적으나, 기공의 압착효율을 향상시키는 패스스케줄(path schedule)을 결정하는 방향을 제시하였다.

(3) 개기공인 경우, 압하율 20~40% 을 소재에 부가하게 되면 표면에서 가까운 부분의 기공은 압착되지 않으며, 표면에서 멀어짐에 따라 내부에 존재하는 기공과 같은 압착과정을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 자식경제부 청정생산기술개발사업 “대형 잉곳의 단조합리화를 위한 Near Net Shape 성형기술 개발” 사업의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부임.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Y. Park, J. R. Cho and D. Y. Yang, 1990, Two-dimensional finite element analysis of hot radial forging, KSME, Vol. 14, No. 5, pp. 1166~1180.
- [2] M. Tanaka, S. Ono and M. Tsuneno, 1986, Factors Contributing to Crushing of Voids during Forging, JSTP, Vol. 27, No. 306, pp. 852~859.
- [3] M. Tateno and S. Shikano, 1966, Study on Closing of Internal Cavities in Heavy forgings by Hot Free Forging, JSTP, Vol. 7, No. 65, pp. 299~308.
- [4] C.Y. Park and D. Y. Yang, 1997, Modeling of Void Crushing for large ingot hot forging, JSTP, Vol. 67, pp. 195~200.