

자유단조공정에서 기공폐쇄 예측을 위한 유한요소해석

민규영¹ · 임성주² · 최호준² · 최석우² · 박용복[#]

FEM Analysis for the Prediction of Void Closure On the Open Die Forging Process

K. Y. Min, S. J. Lim, H. J. Choi, S. Choi, Y. B. Park

Abstract

In order to resolve the problems which appear after the clean large ingot production process, the impurities which are involved in the steel smelting process should be removed by developing cleaner materials. Through the rationalization of cogging process that is the first forging process of large ingot the quality is to be improved. For the sake of the optimization of an open die forging process and the improvement of the subject matter frequency ratio, a hazard precise die forging process must be developed and a Near Net Shape Forming accomplished. As a result, energy can be reduced by minimizing an after control process. In order to produce large axes and other forming parts, processing techniques are to be developed. In this context, this paper is a study about a reduction ratio, dies width ratio and rotary angles, the amount of overlap, and intends to analysis cogging processes, utilizing Deform-3D cogging module

Key Words : Cogging, Near Net Shape Forming, Finite Element Method

1. 서 론

오늘날 각종 산업의 발전과 더불어 생산공정 전반에 걸쳐 자원과 에너지를 절약하고 환경오염을 최소화하는 지속 가능한 청정생산기술이 급속한 성장추세에 있다. 또한 국내 철강산업 분야에서도 청정화의 일환으로써 철강소재의 청정생산 및 중·대형 단조 성형품의 다양화에 많은 관심이 집중되고 있지만 기술적 및 환경적 요소를 충분히 고려한 기술 개발에는 한계를 느끼고 있는 실정이다.

단조품의 내부 품질 측면에서 중요한 자유단조공정은 업셋팅(Upsetting)과 코깅(Cogging)공정으로 이루어져 있다. 자유단조공정 초기에 수행되며, 단조품의 종류와 관계없이 수행되는 공통되는 공정이다. 업셋팅 공정은 상부와 하부 금형 사이에 소재를 놓고 압축하여 중심부의 기공을 폐쇄시키는 공정이다. 그러나, 업셋팅 공정만으로 소재의

기공 폐쇄를 완전히 이루어내기에는 금형과 접촉하는 강제 영역에서 기공폐쇄의 효율이 떨어지는 문제가 있다. 코깅 공정은 업셋팅 공정에서 늘어난 단면적을 감소시켜 길이를 늘리는 공정으로 단조 비를 확보 해야 한다. 업셋팅 공정에서 제거하지 못한 기공을 폐쇄시키는 것을 주 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 3차원 유한요소해석을 통하여 코깅 공정의 공정변수 변화에 따른 기공의 거동을 확인하였다. 코깅 공정의 성형공정변수로는 금형 형상, 금형 폭 비, 압하율, 겹침량 등이 있다. 금형 형상의 경우 평 다이(Flat die)를 사용하고 금형 폭 비, 압하율, 겹침량을 성형공정변수로 선정하여 기공 압착에 미치는 영향을 평가하였다. 실제 실험으로는 각 변수를 변화시키는데 제약이 있으므로, Deform-3D 코깅 모듈(Cogging Module)을 이용하여 해석 결과를 분석함으로써 기공 폐쇄를 위한 코깅 공정의 성형공정변수 제어의 우선 순

1. 공주대학교 대학원 기계공학과

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 공주대학교 기계자동차공학부,

E-mail: ybpark@kongju.ac.kr

위를 결정하고자 한다.

2. 기공폐쇄 예측을 위한 해석

2.1 다이 폭이 기공 폐쇄에 미치는 영향

코킹 공정의 성형공정변수 중 다이 폭이 기공 폐쇄에 미치는 영향을 평가하기 위하여 모사해석을 수행하였다. 코킹 공정으로 제작되는 단조 제품 크기가 대형이기 때문에, 실 제품에 대하여 실험적으로 기공폐쇄 거동을 평가하는 것은 현실적으로 어렵다. 본 연구에서는 AISI 1045을 1250℃ 조건에서 모사해석을 수행하였다. 형상은 Fig. 1과 같이 $\phi 90 \times 100$ 의 원기둥 형태이고 Fig. 1과 같이 $\phi 10$ 의 구멍 3개를 위치시켜 파이프(Pipe)형태의 기공을 모사하였다. 현실적으로는 구형의 기공을 모사해야 하지만 구형 기공을 제품 내부에 가공하는 방법이 어렵기 때문에 파이프 형태의 기공으로 가정하였다.

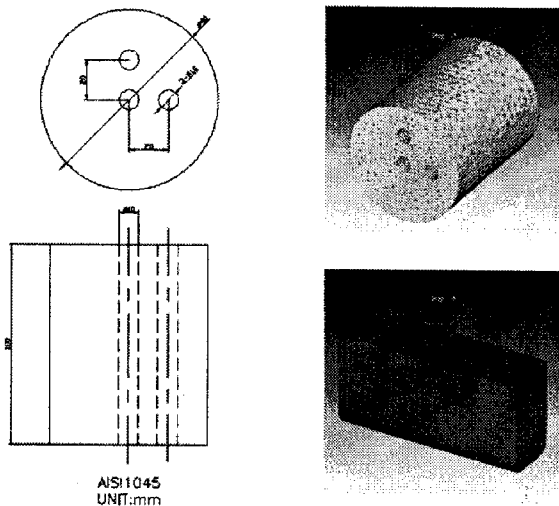


Fig.1 Dimension of AISI 1045 specimen for cogging process simulation

AISI 1045를 이용한 모사 해석은 Fig. 2와 같이 소재를 압축하면서 중심부의 기공폐쇄 거동 변화를 관찰하는 방식으로 이루어졌다. 해석에 적용된 실험조건은 Table 1과 같다.

2.2 모사 해석 결과

Fig. 3은 소재 단면부의 기공폐쇄 형상변화에 대

한 유한요소해석 결과를 비교한 것이다.

Table 1 Condition used in cogging process simulation

Material	AISI 1045
Dimension (mm)	$\phi 90 \times 100$
Die shape	Flat die, Width=30
Die speed (mm/sec)	25
Friction coefficient(μ)	0.4
$\Delta H/H$ (%)	19, 38

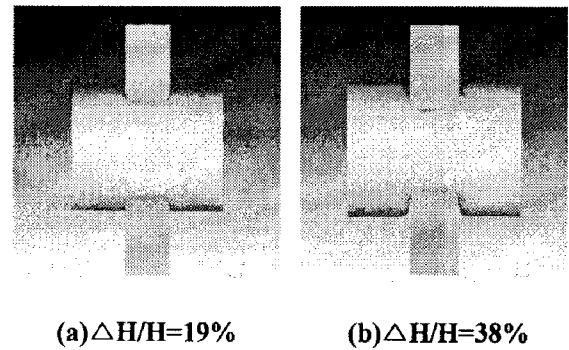


Fig. 2 Shape of cogging process simulation

	Center	5mm	10mm
압하율 19%			
압하율 38%			
	15mm	20mm	25mm
압하율 19%			
압하율 38%			

Fig. 3 Result of cogging analysis each distance

압하율 19%와 38%로 코킹 공정을 수행하였을 때 중심으로부터 5mm 간격으로 기공폐쇄 거동을 확인한 결과 압하율 19%일 때보다 압하율 38%일 때 기공폐쇄가 더 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

3. 성형 공정 변수 분석

Table 2는 코킹 성형공정변수로 선정한 변수들이고 Fig. 4는 코킹 공정변수로 압하율과 금형 폭 비,

겹침량의 정의를 나타낸 것이다. 소재 형상은 환봉이고 소재 제원은 $\text{Ø}90 \times 200$ 이다. 압하율($\Delta H/H$)은 압하 전 소재높이(H)에 대한 압하량($\Delta H=H-h$)의 비이며, 금형 폭 비(W/H)는 압하 전 소재 높이(H)에 대한 금형 폭(W)의 비로 정의하였다. 겹침량은 패스(Pass)간의 겹침의 양을 나타낸 것이다. Fig. 5는 코킹 공정이 진행되는 과정을 보여주고 있다.

Table 2 Data of deformation process variable

소재 제원	압하율(%) ($\Delta H/H$)	금형 폭 비 (W/H)	겹침량 (O, mm)
$\text{Ø}90 \times 200$	15	0.8	1/3 W
	20		1/4 W
	25		1/5 W
	30		1/6 W

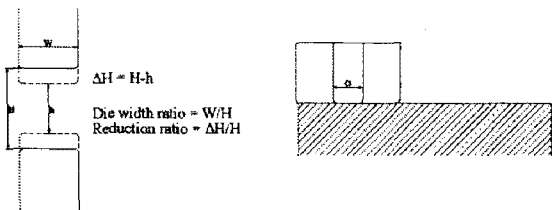


Fig. 4 Definition of cogging process parameter

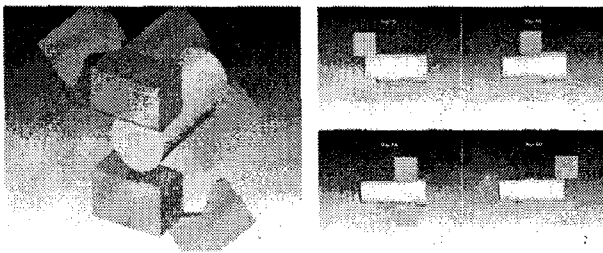


Fig. 5 Photographs of cogging process simulation

4. 자유단조공정에서 기공 폐쇄 거동 해석

본 해석에서 사용된 모델의 기공은 구형으로 형상화해야 하지만 구형기공을 제품의 내부에 가공하는 방법이 어렵기 때문에 파이프의 기공으로 모델링 하였다. 또한 주조 잉곳 내부 기공 폐쇄 거동을 분석하기 위해 소재는 AISI 1045를 사용하고 금형은 AISI D-3를 사용하였다. 해석 시 잉곳 내부의 기공형상을 실제와 유사하게 모사하기 위해 Deform-3D Pre-processor mesh window를 이용하여 격자를 구성하였다. 소재의 요소 수는 100,000개를 적용하였으며, 파이프 형상의 기공을 이용하

여 기공폐쇄거동을 관찰하였다. 기공폐쇄에 대한 금형 폭 비의 영향을 평가하기 위해 금형 폭 비를 0.8로 하고 압하율을 15~30% 범위에서 변화할 때 기공에 대한 폐쇄거동해석을 수행하였다. Fig. 6은 압하율 15%일 때 부위별로 기공형상을 관찰하였다.

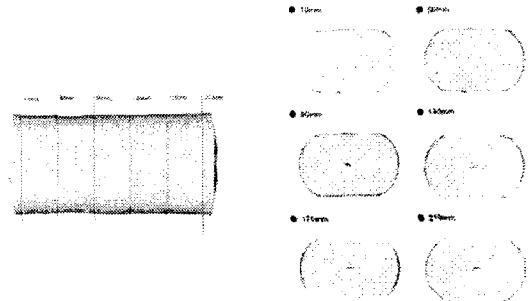


Fig. 6 Shape of inner void after open die forging process

압하율이 증가 할수록 기공의 폐쇄는 더 잘 이루어 졌지만 격자재구성이 발생하면서 기공 주위의 격자 크기가 커지면서 기공의 폐쇄 거동을 세밀하게 관찰 할 수 없었다. 하지만 기공의 폐쇄가 이루어지는 경향을 볼 수 있었다. 겹침이 일어나는 구간에서는 겹침량이 증가할수록 겹치지 않는 부위 보다는 겹치는 부위에서 기공 폐쇄가 더 잘 이루어지는 경향을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 3차원 유한요소해석을 통하여 자유단조공정의 공정변수 변수화에 따른 기공폐쇄 거동을 평가하고 기공이 폐쇄되는 소재를 해석하였고 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 대형 단조품의 자유단조공정에 대해 3차원유한요소해석모델을 수립하였고 소재중심으로 부터 5mm 간격으로 기공의 폐쇄거동을 확인 할 수 있었다.
- (2) 자유단조공정의 공정변수인 압하율($\Delta H/H$)이 증가할수록 기공폐쇄가 더 잘 이루어졌고, 겹침량이 증가할수록 기공폐쇄가 잘 이루어졌다.

후 기

본 연구는 산업자원부 대형 잉곳의 단조합리화

를 위한 Near Net Shape 성형기술개발과제의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구에 도움을 주신 (주)KSP와 한국생산기술연구원 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 송민철, 권일근, 박연구, 2007, 대형 단조품 코킹 공정의 기공 압착 인자에 대한 연구, 한국소성가공학회지, 제16권, 제7호, pp. 502~507.
- [2] 이경진, 배원병, 조종래, 김동권, 김영득, 2007, 대형 로터의 자유단조공정에서 기공압착 예측

을 위한 유한요소해석, 한국소성가공학회지, 제16권, 제2호, pp. 126~131.

- [3] 권용철, 이정환, 이승욱, 정용수, 김남수, 이영선, 2007, 열간 자유단조 공정 시 내부 공극 압착 거동에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제16권, 제4호, pp. 293~298.
- [4] 조종래, 김동권, 이부운, 양동열, 1995, 평다이를 사용하는 자유 단조 공정의 최적 단조 조건에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제4권, 제2호, pp. 141~150.
- [5] C.Y. Park, J.R. Cho, D.Y. Yang, D.J. Kim, I.S. Park, 1992, Analysis of cavity Closure in the Upsetting Process of Large-Ingots