

열간 자유단조시 내부 공극 압착 거동에 관한 유한요소해석

이영선^{1#}, 권용철¹, 권용남¹, 이승욱², 김남수², 이정환¹

FEM Analysis on Cavity Closure Behavior during Hot Open Die Forging Process

Y.S. Lee, Y. C. Kwon, Y.N. Kwon, S.W. Lee, N. S. Kim, J.H. Lee

Abstract

Large size forged parts usually were made by hot open die forging because of the die cost, high applied load and small manufacturing quantities. Cast ingots were used in open die forging and the ingots almost included the cavities in its inside. Therefore, one of the aims for forging processes is to close and remove the cavities. However, its criteria were well not defined since the studies have many difficulties to investigate the cavity behaviors because of its large size.

In this study, the cavity closure behavior was investigated by experimental and FE analysis. The FEM analysis is performed to investigate the overlap defect of cast ingots during free forging stage. The measured flow stress data were used to simulate the forging process of cast ingot using the practical material properties. Also the analysis of cavity closure is performed by using the DEFORMTM-3D. The calculated results of cavity closure behavior are compared with the measured results before and after forging, which are scanned by the X-ray scanner. From this result, the criteria for deformation amounts effect on the cavity closure can be investigated by the comparison between practical experiment and numerical analysis.

Key Words: Finite Element Method, Ingot, Free Forging, Open Die Forging, Cavity, Hydrostatic Stress, Effective Stress

1. 서론

단강품을 제조하기 위한 자유단조 공정은 주조 조직을 제거하고, 존재하는 공극을 압착시켜 제거하며, 편석을 소멸시키면서 최종 제품의 형상에 가깝게 만드는 것이 단조공정의 주요한 목적에 해당된다. 이러한 단강품에서 공극이나 편석을 제거하기 위해서는 필요한 중요한 단조 공정 중 하나가 업셋팅(Upsetting)과 코깅(Cogging)작업이며, 본 연구에서는 대형 단강품 제조를 위해 필요한 열간자유단조공정(Hot die forging process)시 공극의 압착 시작 및 거동에 대한 기준을 마련하고자 하

였다. 공극의 압착이 시작되는 시점과 제거되는 기준을 설정함으로써 주조 잉곳의 결함제거를 위한 공정설계 기준을 구축하는 것은 품질관리 및 향상을 위해 매우 중요하다. Lee[1] 열간자유단조 공정시 공극의 압축에 대한 분석을 위해 열간 업셋팅 공정을 이용한 실험과 유한요소해석을 통해 그 기준에 대한 분석을 한 결과 0.6 이상의 변형율이 공극압축의 기준으로 분석한 바 있다. 본 연구에서는 그 결과에 이어 압착된 공극이 다시 인장응력을 받을 경우 변형거동을 분석함으로써 공극압착 거동을 위한 해석을 위한 정확한 기준을 마련하고자 하였다. 자유단조 시 단강품의 품질

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 소성응용그룹

2. 포스코특수강㈜ 기술연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소 소재성형연구센터,

E-mail: lys1668@kmail.kimm.re.kr

향상을 위한 연구로는, 대형 강괴의 공극압착에 대한 해석[2], 자유 단조 시 하중, 금속유동, 응력분포, 변형률 분포 등을 예측한 결과들이 대표적이다[3~9]. 공극압착 거동에 대한 연구를 통해 분석된 결과의 신뢰성은 그림 1에서 보는 바와 같이 실 단조품의 형상과 FEM해석 결과의 형상이 정확히 일치하는 것으로 확인할 수 있는데 공극이 존재하는 부분은 단조에 의한 배럴링(barreling)이 공극이 존재하지 않는 부위보다 차이가 발생되고 있으며 그 영향이 해석에서 정확히 예측되고 있음을 볼 수 있다.

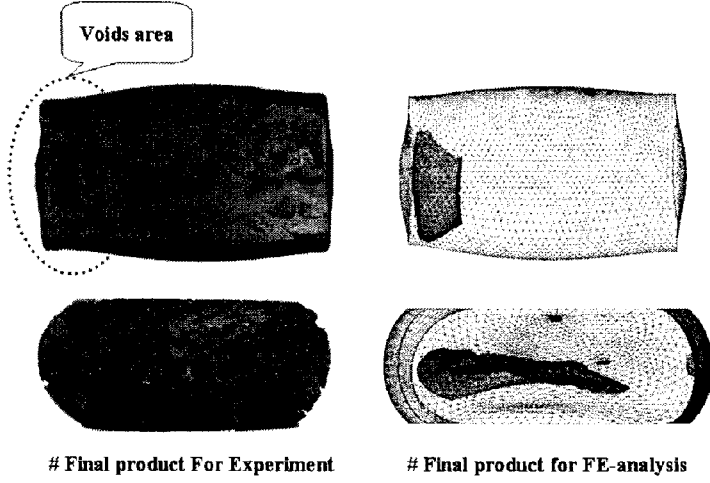


Fig.1 The comparison of the final product on the experiment and FE-analysis

따라서, 분석된 결과를 토대로 정리하면 그림 2에 나타나 있는 것과 같이 기공이 압착된 부위의 정수압 응력의 변화가 압축에서 인장응력으로 복원되며 그 부위의 유효변형율이 0.6 이상으로 분석되었다. 이로서 공극 압착의 조건을 설정할 수 있었다. 이러한 기준을 실제 다양한 자유단조 공정의 해석에 이용하기 위해서 한가지 추가적으로 필요한 것이 있다. 자유단조 공정은 다양한 방향에서 수차례에 걸쳐 가압을 하게 되므로 그림 1의 업세팅(upsetting) 공정이후에 다른 방향에서 가압이 이루어질 경우 공극압착 기준을 넘어선 부위(P1, P2, P3)의 공극은 어떤 거동을 겪게 될지에 대한 해석 기준이 필요하다. 즉, 다시말해 압착된 부위가 실제 압착된 것을 그대로 유지한다면 다음 공정 해석시 압착부위의 형상은 공극이 제거된 형상으로 요소가 재구성되면 되는 반면 공극이 다시 전개된다면 기하학적인 형상을 유지하면서 요소가 생성되어야 하는 것이다. 결국, 압착된 것으로 판단되는 공극이 추가적인 변형이 일어날 때 어떤 거동을 일으킬지에 대한 해석 기준을 설정하고자 하였다.

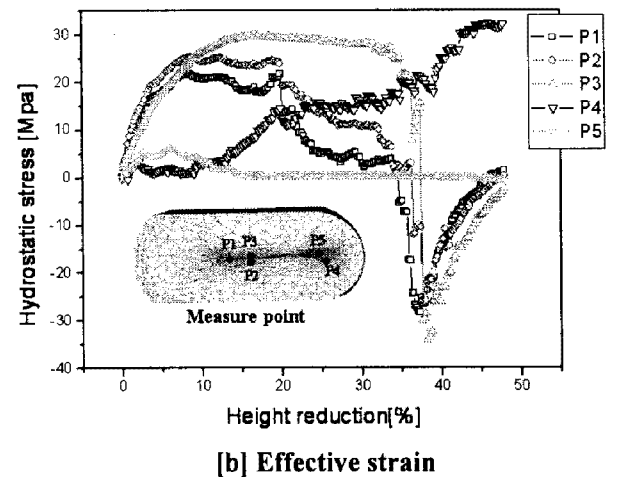
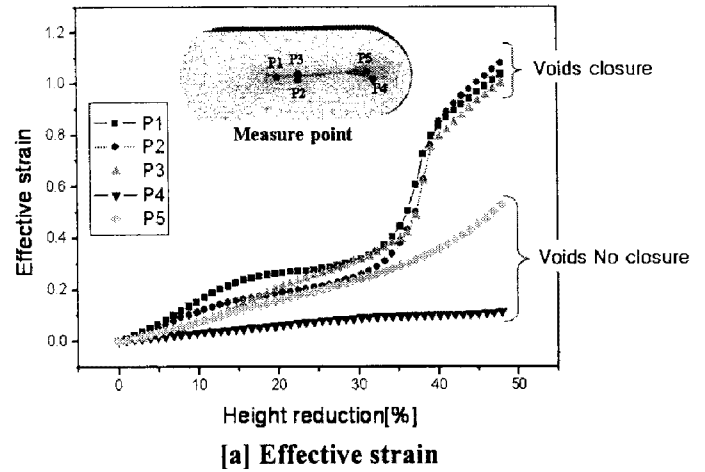


Fig.2 The influence of effective strain and hydrostatic stress at various cavity positions

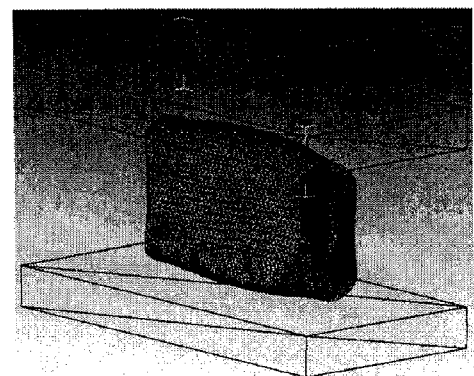


Fig.3 FE modeling for hot forging to investigate the deformation behavior of upset specimen during 2nd upsetting.

그림 3은 2차 소성변형에 대한 연구 흐름을 알 수 있는 3차원 모델링을 나타내고 있다. 그림

에서 알 수 있듯이 1 차로 단조 된 시편을 90 회 전시켜 위치시킨 후 2 차 단조를 함으로써 압착된 공극의 변형이 어떤 거동을 일으키는지 분석하고자 하였다.

2. 토의

본 연구에서 주조 후 단강품에 존재하는 내부 공극에 대해서 열간 압축실험과 열간점소성 유한 요소해석을 통해 공극 압착 거동을 관찰하였다. 열간 압축 공정을 거치는 동안 공극의 폐쇄 및 압착효과를 정량적으로 분석하기 위해 최종제품에서 공극이 압착되는 부위 3곳과 미 압착 부위 2곳에 대해 유효 변형율과 정수압 응력을 분석하였다. 분석 결과 유효 변형율 0.6 이상에서 공극이 압착되며, 미 압착부위에서는 0.6 이하로 나타났다. 이는 공극이 압착되기 위해서는 유효 변형율이 0.6 이상이 되어야 한다는 것을 판단 할 수 있다. 정수압 응력은 초기 공극의 미 압착시 인장 응력(+)이 작용하다가 압하량 35%이상에서 공극이 압착되면서 압축응력(-)이 나타남을 알 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 확인한 공극압착 예측을 위한 정수압응력의 변화 특성과 함께 유효 변형율을 기준으로 예측할 수 있는 기초를 마련하였다. 추가적인 단조 실험과 해석을 통해 압착 공극의 거동을 분석함으로써 실제적인 공극압착 조건을 선정하였다.

참 고 문 헌

[1] 권용철, 이정환, 이승욱, 정용수, 김남수, 이영선, 열간 자유단조 공정시 내부 공극 압착거

동에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제16권 제4호, 2007

- [2] 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.
- [3] Spencer et al, 1981, Mathematical Model for Simulation of solidification and cooling of cast rolls, Ironmaking and Steelmaking, No.3, pp. 129~136.
- [4] Toshihiko Oshima et al, 1985, Predication of the formation region of eutectic NbC in a large 12Cr-Mo-V-Nb steel ingot, Trans. ISIJ, Vol. 1, pp.78~84.
- [5] J. Ohnaka, T. Fukusako, 1981, Solidification Analtsis of steel ingots with consideration on fluid flow, Trans. ISIJ, Vol. 21, pp. 488~494.
- [6] S. P. Dudra, Y. T. IM, 1990, Investigation fo metal flow in open-die forging with different die and billet geometries, J. of Materals Processing Technology, Vol. 21, pp. 143~154.
- [7] B.V. Kiefer, K. N. Shah, 1991, Three dimensional simulation of open-die press forging, ASME Trans. J. of Eng. Mat. and Tech, Vol. 112, pp. 477~485.
- [8] J. H. Yoon, D. Y. Yang, 1990, Three dimensional rigid-plastic finite element analysis of bevel gear forging by using remeshing technology, Int. J. Mech. Sci, Vol. 32, pp. 277~291.
- [9] N. A. Wilkinson, 1989, Proceeding of the International Symposium on the Metal-lurgy and Applications of Superalloy 718, TMS, Pittsburgh, Pennsylvania, p. 119.
- [10] D. Y. Yang, Y. Choi, J. H. Kim, 1991, Analysis of upset forging of cylindrical billet considering the dissimilar frictional conditions at two flat die surfaces, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 31, No. 3, pp. 397~404.