

프로파일 자유단조에 의한 24인치 대형 볼 성형해석기술

Profile open-die forging simulation for 24 inch large ball

*이명원¹, #강성훈¹, 이영선¹, 김현수², 이상명²

*M. W. Lee¹, #S. H. Kang(kangsh@kims.re.kr)¹, Y. S. Lee¹, H. S. Kim², S. M. Lee²,

¹한국기계연구원 재료연구소 변형제어연구그룹, ²마이스코

Key words : Profile open-die forging, 24inch ball, FEM simulation

1. 서론

조선·해양 플랜트용 24인치 볼밸브용 볼은 현재까지 주조공정에 의해 제조되어 왔다. 이 공정을 프로파일 자유단조공정으로 대체할 경우 생산비용의 절감이 가능하고 프로파일 자유단조공정(Profile open-die forging) 시 잉곳의 기공, 편석 등의 결함 제거가 가능하므로 기계적 특성 향상으로 대형 볼의 고강도, 고수명의 제조 기술 확보 가능하다.^{1,2} 또한 본 연구의 해당 소재인 탄소강 이외에도 스테인레스 등 고내부식성을 갖는 다양한 합금강의 합리적 제조가 가능해져 원자력, 정유, 발전설비, 풍력 등 대형 산업군에 적용가능한 대형 부품 제조 기술의 확보가 가능해진다.

2. 자유단조해석에 의한 공정설계

본 연구에서는 조선·해양 플랜트용 24인치 대형 볼 성형을 위한 프로파일 자유단조해석을 수행하였다. 볼 성형을 위한 자유단조 공정은 Fig.1 에서 나타낸 것과 4개의 단계를 거치고 각 단계가 완료된 후 재가열 공정이 추가된다. 먼저 업셋팅공정에서 엔빌과 접촉하는 영역에서 생성되는 데드메탈 존(Dead metal zone)이 존재하지 않도록 하기 위해 가압 시 마다 소재를 90도 회전시켰다. 업셋팅 공정 후 발생한 배럴링(barrelling)을 제거하기 위해 2차 업셋팅 공정을 수행한 후 원통형상으로 성형하기 위해 코깅(Cogging)공정을 수행하였다. 다음으로 1, 2차에 걸친 피어싱(Piercing)공정을 수행한 후 링 압연(Ring rolling) 공정을 수행하였다.

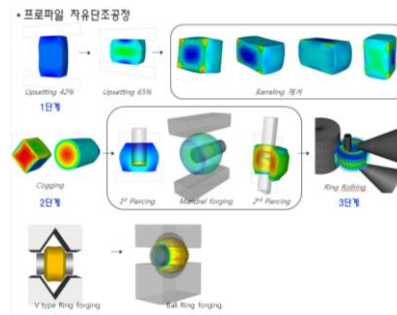


Fig. 1 Open-die forging processes for 24 inch large ball.

그러나 Fig.2 에서 나타낸 것처럼 앞의 피어싱 공정에서 생성된 배럴링과 메인롤(Main roll)과의 접촉하는 면이 먼저 성형되고 링의 상·하부가 메인롤과 접촉하지 못하게 되어 소재접침과 같은 불균일한 변형이 발생하였다. 이를 개선하고자 1차 피어싱 후 배럴링을 제거하기 위한 링 단조 공정(Mandrel forging)을 피어싱 펀치를 삽입한 상태에서 2차 피어싱을 수행하였다. 링 단조 공정의 추가로 배럴링 부분을 평탄하게 만들어 링 압연 공정에서 발생한 불균일한 변형을 방지할 수 있었다.

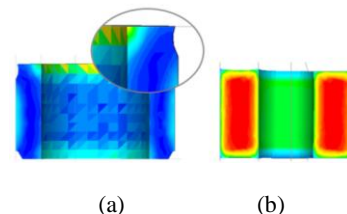


Fig. 2 Deformation patterns during ring rolling. : (a) without and (b)with mandrel forging.

4번째 단계에서는 프로파일 자유단조 시 링의 모서리 부분에서 발생할 수 있는 주름과 같은 표면결함을 미리 방지하기 위해 링 압연 공정 후 테이퍼 단조공정을 수행하였다. 테이퍼링 단조공정은 평 앤빌(Plain anvil) 및 V형 앤빌(V type anvil)을 이용한 공정 두 가지로 진행되었다. 두 경우의 해석결과는 비슷하였으나 평 앤빌을 이용한 공정의 경우, 맨드릴이 45도 각도로 기울어져 있어 작업 중 앤빌과 맨드릴의 간섭이 발생할 가능성이 많고 파손 위험성이 매우 높은 것으로 판단되었다.

3. 24 인치 대형 볼 성형해석

프로파일 자유단조 시 앤빌의 곡률과 가압높이(Stroke)에 따른 특성을 분석하였다. 먼저 앤빌곡률 100mm에서 가압높이별로 비교하였다. 초기 가압높이를 220 mm으로 적용했을 때 곡률 부분에서 많은 양의 플래쉬(flash)가 생성되며 공정이 진행될수록 소재의 회전에 의해 접침이 발생하였다. 소재접침량은 공정이 진행될수록 많아지고 표면 주름을 생성하였다.

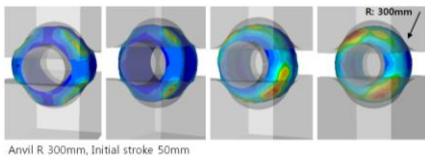


Fig. 3 Simulation result showing profile open die forging process for 24inch ball.

초기 가압높이를 110 mm과 50mm로 적용하여 해석한 결과 220mm과 다르게 볼을 성형하였으나 표면에 주름이 부분적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 표면주름을 최소화하기 위해 플래쉬에 의한 표면주름이 발생되지 않도록 프로파일 앤빌의 곡률을 300mm로 크게 하고 초기 가압높이를 50mm으로 해석을 수행하였다. 곡률을 크게함으로써 표면주름이 거의 발생하지 않았으며 변형을 분포가 균일하게 나타났다. 실제공정에서 발생할 수 있는 상·하 앤빌의 간섭을 피하기 위해 내경 높이가 낮은 앤빌을 이용한 해석을 추가로 수행하였다. 내경 높이가 낮은 앤빌을 이용한 공정에서도 표

면주름이 거의 발생하지 않았다. Fig.4에서 앤빌곡률 100mm에서의 초기 가압높이 220mm과 50mm의 소재 내부 유효변형을 분포와 표면의 주름 정도를 관찰할 수 있다.

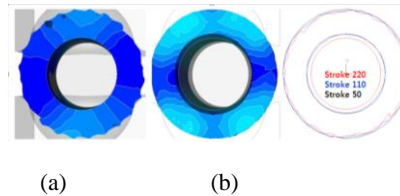


Fig. 4 Surface geometries and effective strain distribution of the forged ball according to the anvil design. : (a) Initial stroke 220mm, (b) Initial stroke 50mm.

4. 결론

프로파일 자유단조 시 소재는 앤빌의 곡률부와 접촉하고 앤빌의 곡률에 따라 소재의 표면형상은 많은 영향을 받는다. 앤빌의 곡률이 100mm 일때 가압량에 따라 정도의 차는 가지지만 소재접침과 표면주름이 발생하였다. 내부의 유효변형을 가압높이가 50mm 으로 동일하고 곡률조건이 각각 100, 300mm 으로 다른 조건을 가질 때 앤빌곡률이 큰 300mm 소재의 내부 유효변형율은 상대적으로 낮게 예측되었다.

후기

본 연구는 2010 년 지식경제부에서 시행하는 지역산업기술개발사업 (주관기관: (주) 마이스코) 의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kang, S. H., Kim, S. W., Lee, Y. S., "Application of Modified Hydrostatic Stress Model to Internal Void Crushing in Forging of Large-Scale Ingot," Steel Research Int., **81**, 314-317, 2010
2. Lee, Y. S., Lee, S. U., Van Tyne, C. J., Joo, B. D., Moon, Y. H., "Internal Void Closure during the Forging of Large Cast Ingots using a Simulation Approach," J. Mater. Process. Technol., **211**, 1136-1145, 2011