

초고탄소강 적용 워크롤의 단조 공정 설계 및 접합강도 분석

Investigation on bonding strength and forging process design of ultrahigh carbon workroll

#강성훈¹, 임형철¹, 이호원¹, 김병민²

#S. H. Kang(kangsh@kims.re.kr)¹, H. C. Lim¹, H. W. Lee¹, B. M. Kim²

¹재료연구소 변형제어연구실, ²부산대학교 정밀공학시스템

Key words : Incremental upsetting, Ultrahigh carbon steel, Void closure and healing, Diffusion bonding

1. 서론

잉고트의 주조과정에서 발생하는 수축공과 같은 기공은 제품의 결함 및 파손을 초래할 수 있다[1]. 따라서 잉고트는 업세팅과 코깅 공정을 통해 잉고트 내부 기공을 제거해야 할 필요가 있다[2].

본 연구에서는 유한요소기법을 이용하여 기존의 코깅 공정에서 내부 기공의 거동을 확인하여 문제점을 제시하고 이를 보완하기 위하여 효과적인 방법의 단조공정설계를 제시하였다[3]. 또한 앞에서 제시한 새로운 방법의 단조공정설계를 1.9wt% C 초고탄소강의 기공압착과 확산접합 실험 및 미세 조직 관찰을 통하여 검증 하였다.

2. FE analysis 를 통한 단조공정설계

초고탄소 워크롤의 단조공정해석을 통하여 코깅 공정 시 내부 기공의 거동을 살펴 보았다. 유한요소해석의 결과로 Figure 1 (a) 에서 볼 수 있듯이 고경비가 1.24 인 주조 잉고트를 90°, 45°, 22.5° 로 반복적으로 회전하며 코깅 공정을 실시하여 Body 부와 Neck 부 단조비가 각각 2.7S, 7.6S 인 워크롤 공정해석이 수행되었다.

단조해석에 사용된 주조 잉고트의 모델의 중심부에는 잉고트 길이의 약 50% 길이의 원통형 기공을 모델링하였으며, 코깅 공정을 진행함에 따라 원통형 기공의 변형 거동을 확인하였다. Figure 1 (b)에서와 같이 내부 원통형 기공은 단조비 2.7S 에서 길이 방향으로

약 2.1 배 늘어났으며 잉고트의 반복적인 회전으로 인하여 기공의 단면형상은 원형을 유지했다. 또한 기공이 완전하게 압착되지 않은 것을 볼 수 있다.

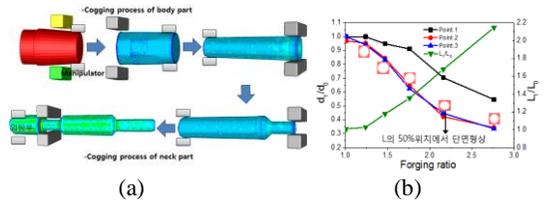


FIGURE.1 (a) Conventional cogging process, (b) change of void size and length according to forging ratio in conventional cogging process

따라서 보다 더 효과적인 방법의 공정설계가 필요하다. Figure 2(a)와 같이 주조 잉고트를 회전하지 않고 한 방향으로 업세팅을 실시하는 점진 업세팅을 적용하면 Figure 2(b)에서와 같이 내부 원통형 기공의 단면형상은 압하율이 올라감에 따라 점차 타원 형태로 변하면서 마침내 40~45%의 압하율에서 기공이 압착된 것을 확인할 수 있다.

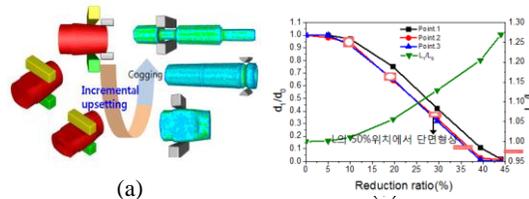


FIGURE.2 (a) Incremental upsetting and cogging process, (b) change of void size and length according to reduction ratio in incremental upsetting

3. 점진 업세팅 및 확산접합 실험

본 실험은 1.9wt%C 초고탄소강 시편을 사용하여 점진 업세팅과 확산접합을 통해 기공의 압착 및 접합을 확인하기 위하여 수행되었다. 실험에 사용된 시편은 주조 잉고트를 직경 40mm, 길이 65mm 로 소형화한 시편을 사용하였으며 시편 중심부에는 직경 2mm, 길이 45mm 의 기공이 있다. 또한 점진 업세팅은 950~1100°C 의 온도 실시되었다.

점진 업세팅을 통한 기공압착과 확산접합을 통해 기공의 확산접합을 확인하기 위하여 시편을 회전하지 않고 압하율 45%까지 1 차 점진 업세팅을 실시하였으며, 이후 1100°C 에서 1 시간 동안 확산접합을 적용하였다. 원통형 기공이 점진 업세팅과 확산접합을 통하여 압착 및 접합이 되었는지 확인하기 위하여 미세 조직관찰을 실시하였으며, 결과 Figure 3 에서와 같이 점진 업세팅을 통해 기공이 압착되고 확산접합으로부터 접합된 선을 볼 수 있다.

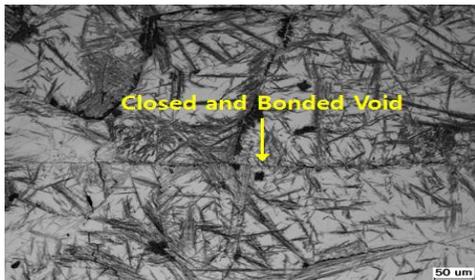


FIGURE.3 Microstructure obtained after 1st incremental upsetting and diffusion bonding at 1100°C

확산접합 이후 시편을 90° 회전하여 2 차 점진 업세팅을 실시하였다. 이는 1 차 점진 업세팅과 1100°C 에서의 확산접합으로부터 압착되고 접합된 기공이 2 차 점진 업세팅 과정에서 발생할 수 있는 기공의 재열림(re-open)의 여부를 확인하기 위함이다. Figure 4 에 나타난 접합선(line of bonded void)을 통하여 2 차 점진 업세팅 및 추가의 코깅 공정이 적용되어도 기공이 다시 열리지 않고 확실하게 접합된 것을 확인할 수 있다.



FIGURE.4 The microstructure obtained after 2st incremental upsetting

4. 결론

본 연구에서는 1.9wt%C 초고탄소 워크롤을 보다 건전하게 제조하기 위하여 점진 업세팅, 확산접합으로 구성된 효과적인 단조공정을 제시하였다. FE analysis 의 결과 코깅 공정은 비교적 낮게 요구되는 단조비 40~45% 내에서 기공을 압착할 수 없었다. 하지만 FE analysis 및 실험을 통해서 제시된 점진 업세팅은 코깅 공정과 비교해서 다소 낮은 단조비에서 내부 기공을 확실하게 접합시킬 수 있으며 이를 확산 접합을 통하여 압착된 기공이 더욱 강하게 접합되었다. 또한 확산 접합 이후에 실시되는 2 차 점진 업세팅 및 코깅공정 중에도 확산 접합으로 접합된 기공은 다시 열리지 않았다.

후기

본 논문은 지식경제부 부품소재기술개발사업 (과제 번호: 10036950, 과제 명; 금속압연기용 주조재 및 단조재 워크롤)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. C. Maidorn., D. Blind., "Solidification and segregation in heavy forging ingots," Nucl. Eng. Des, **84**, 285-296, 1985
2. Steve P. Dudra., Y.T Im., "Analysis of void closure in open-die forging," International Journal of machine Tools and Manufacture, **21**, 143-154, 1990.
3. Y. D. Kim., J. R. Cho., W. B. Bae., "Development of forging process design to close internal voids," J. Mater. Process, **210**, 415-422, 2010.