

냉간단조의 Ejecting 공정이 치수정밀도에 미치는 영향

천세환*, 이영선**, 이정환**

Dimensional accuracy and ejecting stage in cold forging

S.H.Chun*, Y.S.Lee**, J.H.Lee**

Abstract

The dimension of forged part is different with the die dimension by the various effects, such as, elastic deformation and thermal effect. And, the difference amounts are not same according to the forging conditions, for example, forging mode, flow stress, etc. Therefore, the use of FEA is effective to predict and update the required die dimension.

However, the variables for FE simulation are also as many as variables in the experiment. The variables give very much effect to the accuracy of FE results. At first, the material model is very deeply affected to the estimated dimension of forged part. And the considering of loading and ejecting stages is also important to increase the dimensional accuracy. The experiment and FEA are performed to investigate the dimensional changes and accuracy in cold forging. Two types of upsetting are used to survey the effects of forging mode and stages.

Key Words: Closed Die Upsetting, Open Die Upsetting, Cold Forging, Dimensional Changes, Loading, Unloading, Ejecting

1. 서론

높은 치수 정밀도와 생산성의 장점 때문에 자동차 산업의 발전과 함께 급성장한 냉간 단조는 최근에 와서는 자동차 산업의 치열한 경쟁속에서 제조원가 절감을 위한 기술 개발에 주안점을 두고 있다. 제조원가를 감소시키기 위해서는 크게 금형 수명을 향상시키는 방법과 단조 후 공정을 감소시키는 방법을 열거할 수 있다. 그 가운데 단조 후 공정을 감소시키기 위해서는 열처리 공정을 생략하기 위해 냉간 비조질강[1,2]을 개발, 일부 이용하고 있으며, 기계가공을 감소시키기 위해서 정밀도를 향상시키는 기술을 개발하고 있다.

본 연구에서는 이 가운데 냉간 단조품의 치수 정밀도를 향상시키기 위해 금형과 단조품간 치수

차이를 정량적으로 분석하였다. 특히, 이미 Lee[3-5] 등이 분석한 바 있는 단조 공정(하중-제하-취출) 동안에 발생하는 금형과 단조품의 탄성 변형과 열변형에 의한 치수 변화를 단조 형태에 따라서는 그 영향이 어떠한 지를 분석하였다.

분석은 실험과 유한요소해석을 병행함으로써 궁극적으로는 보다 실제적인 문제를 분석하고자 할 경우 유한요소해석의 해석 변수를 설정하는데 기준을 마련하고자 하였다.

사용된 단조 형태는 밀폐 단조(closed die upsetting)와 개방형 단조(open die upsetting)의 2가지 모델을 이용하였으며 유한요소해석은 DEFORM-2D V.8.0™을 이용하였다. 실험에 사용된 소재는 2 모델 모두 SCM420H 소재를 이용하였다.

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

* 한국기계연구원 소성응용그룹

2. 단조 금형과 단조품의 치수 차이

2.1 밀폐형 단조 모델

Lee[5] 등이 분석한 바 있는 밀폐형 단조의 경우는 문헌[5]에 그 모델과 결과가 자세히 언급되어 있다. 본 고에서는 그림 1 과 같이 금형과 단조품 간의 치수 차이만 정리하였다. 그림에서 알 수 있듯이 단조품은 단조 금형과 50 ~ 60 μm , 무차원화하면 0.5%정도의 치수 차이를 보이고 있다.

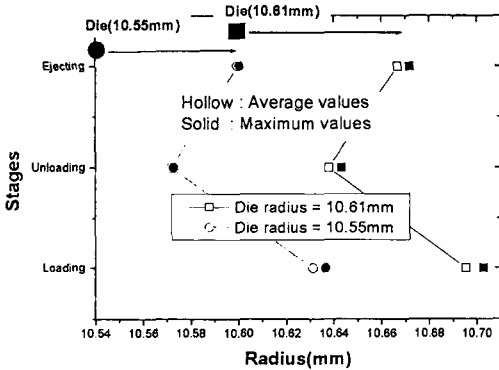


Fig.1 Dimensional differences between die and forged part (closed die upsetting)

이와 같은 치수차이는 실제 실험값과 $\pm 5\mu\text{m}$ 오차 범위 내에서 유한요소해석으로 그 변화를 예측할 수 있는데, 그 만큼의 정밀도를 얻기 위해서는 그림 2 에 나타나 있는 바와 같이 단조 공정 (가압-제하-취출 공정)의 단계별 해석을 실제와 동일한 조건으로 수행해야 만 한다.

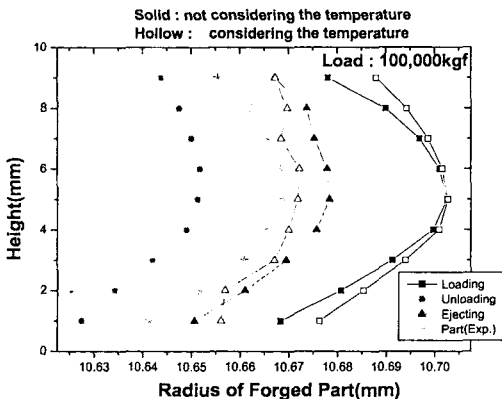


Fig. 2 Dimension of forged part analyzed by the FEM

금형과 단조 소재의 구성방정식, 열박음 영향은 물론, 단조 후 제품 취출 공정까지의 과정도 실제와 동일한 과정으로 해석을 수행해 주어야 만이 요구하는 정밀도를 얻을 수 있게 된다. 그 이유가운데 대표적인 것은 제하(Unloading)시 탄성적으로 팽창된 다이가 수축되면서 소재를 다시 소성변형 (2차 항복, Secondary Yielding)시키기 때문이다.

2.2 개방형 단조 모델

2 차 항복이 발생하는 밀폐형 단조에 비해 개방형 단조는 발생이 거의 존재하지 않거나 그 양이 미소할 것으로 예측되며 정량적인 분석을 수행하였다. 개방형 모델에 대한 치수 변화를 분석하기 위해 사용한 모델은 그림 3 과 같다. 그림 3-a 는 소재의 절단 후 초기 블랭크에서 Preform 이 만들어지는 공정을 나타내고 있다. 그림 3-b 는 실험에 이용한 금형 및 단조품의 형상이며, 물성치와 모델링 조건은 문헌[5]와 동일한 값을 사용하였다.

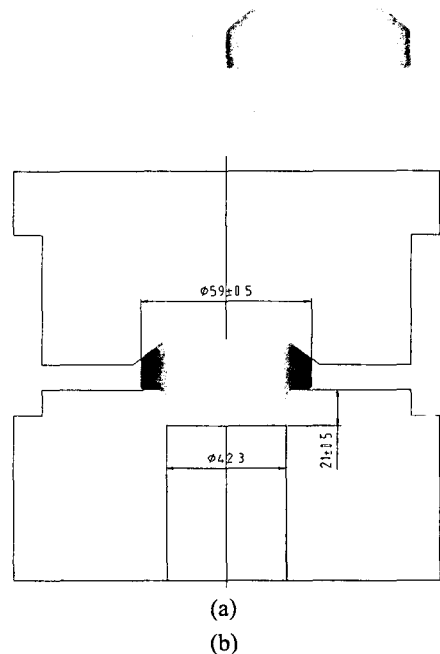


Fig.3 Model for open die forging

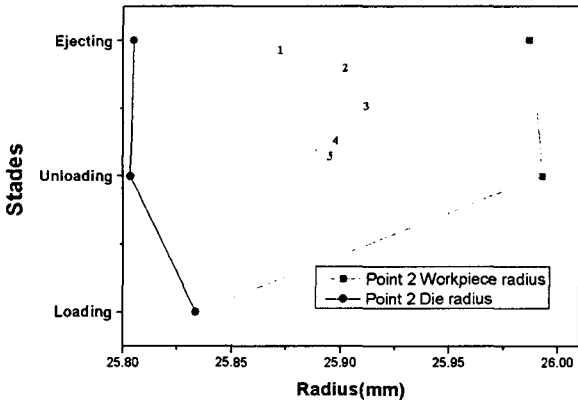
2.2.1 금형과 단조품간 치수 차이

그림 4 는 금형과 단조품과의 치수 차이를 나타내고 있다. 그림 4-(a)는 단조 모델의 2 번 부위의 단조품과 금형의 반경 변화로써 가압 공정 시

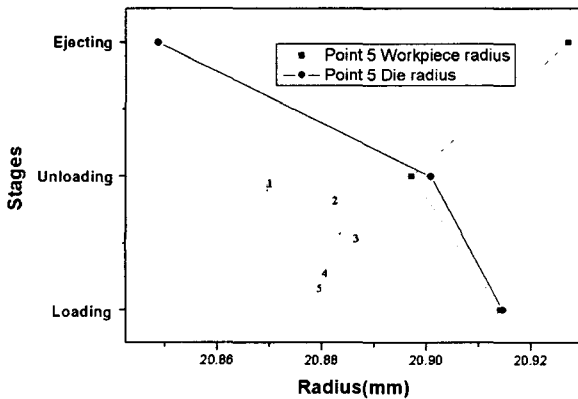
25.8336mm 에서 펀치의 제하 시 160 μm 정도의 소재의 반경이 크게 팽창되었다. 단조품의 취출시는 6 μm 의 양이 감소하는 것을 알 수 있었다. 초기 가압 시에서 펀치의 후퇴 시 30 μm 의 금형 반경이 회복되는 것을 볼 수 있었다. 그림 4-(b)는 단조품의 5번 부위에서 반경 방향의 변화를 나타낸 것이다. 초기 가압 시 20.9142mm 에서 펀치의 후퇴 후 약 17 μm 정도 소재의 반경이 감소하였다. 단조품의 취출이 끝난 후 소재의 반경은 30 μm 의 탄성회복이 일어남을 알 수 있었다. 금형의 반경 변화는 가압 시 20.9171mm 에서 펀치의 제하 시 약 19 μm 감소하였고, 단조품의 취출 후 약 50 μm 정도 반경이 크게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 개방형 형태를 취하는 2번 부위와 대조적으로 밀폐형 단조 형태를 갖는 5번 부위는 2차 항복이 일어나는 부위로 치수 변화가 상대적으로 미소하였다.

2.2.2 제하 및 취출의 영향 비교

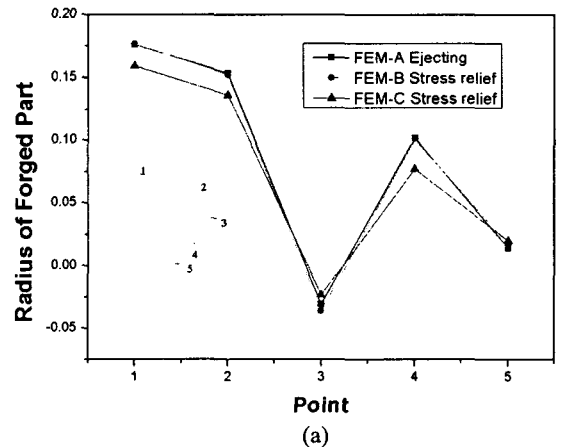
그림 5-(a)는 FEM 해석을 이용하여 단조 공정의 각 단계를 해석 할 경우와 그렇지 않을 경우 최종 단조품의 치수 예측값의 변화를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 FEM-A 는 실제공정과 같이 가압-제하-취출의 공정을 해석한 것이고, FEM-B 는 가압-제하 후 응력제거(Stress relief) 해석을 한 것이다. FEM-C는 가압 공정 후 바로 응력제거 해석을 하였다. 각 부위별 치수는 FEM-A 와 FEM-B 는 거의 비슷하였으나 FEM-C 는 위의 다른 방법의 해석들과 치수 차이가 10~25 μm 정도의 현저한 차이를 나타내는 것을 알 수 있었다. 그림 5-(b)는 개방형 단조형태에서 가압-제하-취출 공정에서의 부위별 변화를 무차원으로 나타낸 것이다. 가압시의 반경을 0 으로 가정했을 때 펀치의 제하 시 1번, 2번, 4번 부위는 각각 180 μm , 150 μm , 100 μm 의 변화를 보이고 있다. 이와는 대조적으로 3번과 5번 부위의 반경 변화는 25 μm 이내로 적음을 알 수 있다. 1번, 2번, 4번 부위는 길이 방향의 변화로 개방형 단조 형태에서는 반경 방향보다 길이 방향의 변화가 아주 크다는 것을 알 수 있었다. 3번 부위에서는 펀치의 제하 시 단조품의 반경이 약 20 μm 정도 감소하는 반면 5번 부위에서 펀치의 제하 시 10 μm 정도 감소한 후 단조품의 취출 이후에 20 μm 의 반경이 팽창되는 것을 보여 주고 있다. 5번 부위는 3번 부위와 달리 단조품의 취출 과정에서 생기는 2차 항복에 의해 반경이 차이나는 것을 알 수 있었다.



(a)



(b)



(a)

Fig.4 Dimensional differences between die and forged part (open die upsetting)

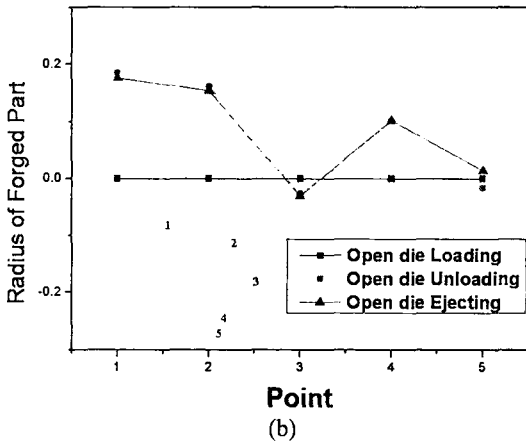


Fig.5 Dimensional changes workpiece of FEM method and Dimensional changes open die

3. 단조 형태에 따른 영향 비교

그림 6 은 각각 밀폐 단조와 개방형 단조의 가압-취출-제하 공정 시 단조품의 치수 변화를 무차원화 한 것으로 금형의 초기 반경값을 0 로 나타내었다. 먼저 밀폐형 단조에서 그림과 같이 가압-제하-취출 시 50~60 μm 의 차이를 나타내고 있다. 이를 무차원하면 약 0.5%의 치수 차이를 보이고 있다. 밀폐형과 반대로 개방형 단조는 가압 후 제하시 150 μm 의 차이를 나타내었다. 또한 이를 무차원하면 약 2%의 이상의 치수 차이를 나타내었다. 이처럼 밀폐형에 비하여 개방형 단조는 초기 제하-취출의 공정에서 발생하는 치수 차이가 밀폐형에 비하여 보다 크게 발생함을 확인하였다.

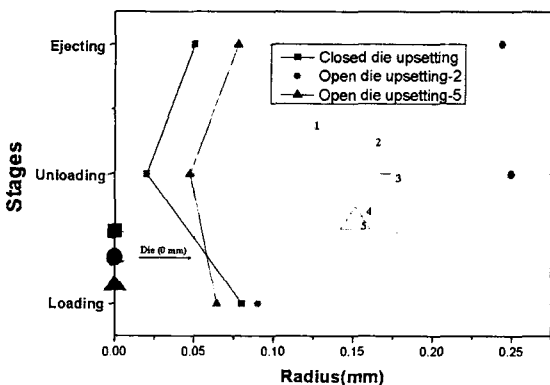


Fig.6 Dimensional changes workpiece of closed die upsetting and open die upsetting

4. 결론 및 향후 연구 계획

냉간 단조품의 치수 정밀도 향상을 위해 수행한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 단조품의 치수를 예측하기 위한 가장 좋은 해석 모델로 금형은 탄성체, 단조 소재는 탄소성체로 가정하고 단조 공정의 단계를 실제와 동일하게 고려하여 해석을 수행하며 변형에 발생하는 온도변화 또한 고려하여야 한다.

2) 밀폐 단조(closed die upsetting)와 개방형 단조(open die upsetting)에서 밀폐형 단조는 1 차 항복 후 단조품의 취출 과정에서 발생하는 2 차 항복에 의해 치수 정밀도가 개방형에 약 3 배 정도 높다.

3) 개방형 단조 형태에서는 반경방향의 치수 변화에 비하여 길이 방향의 치수 변화가 3~6 배 정도로 더 크기 때문에 길이 방향의 치수정밀도에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(과제명 : 무절삭 정밀 단조 기술)으로 진행된 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 이영선, 이정환, 이상용, 1998, “냉간단조용 비조질강의 성형성과 기계적 성질 연구”, 한국소성가공학회 논문집, 7(6), pp. 530-538.
- (2) 서동우, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, “냉간단조용 비조질강 및 성형품의 미세조직과 기계적 특성 분석”, 한국소성가공학회 2004 년도 춘계학술대회논문집, pp. 409-412.
- (3) Y.S.Lee, J.H.Lee, T. Ishikawa, 2002, “Analysis of the elastic characteristics at forging die for the cold forged dimensional accuracy”, J. of Materials Processing Technology, 130-131, pp. 532-539.
- (4) Y.S.Lee, J.H.Lee, Y.N.Kwon, T. Ishikawa, 2004, “Modeling approach to estimate the elastic characteristics of workpiece and shrink-fitted die for cold forging”, J. of Materials Processing Technology, 147, pp. 102-110.
- (5) 이영선, 권용남, 이정환, 2004, “냉간단조품의 치수 정밀 예측을 위한 유한요소해석기술”, 13(1), pp. 3-8 (6).