

미세성형품의 정밀 냉간단조시 치수변화 분석

이명원¹ · 이영선[#] · 이정환²

Dimensional change of micro forged part on precision cold forging

M. W. Lee, Y. S. Lee[#], J. H. Lee

Abstract

Dimensional accuracy is very important quality in micro forged part, especially on forged part. Dimension of forged part is changed continuously during forging process. Loading, unloading and ejecting stage affects dimensional of the forged tool. The elasto-plastic material model for billet and elastic model for die were used to analyze these changes. At same time, the calculated results were compared and analyzed by the experiment on same conditions.

From the experimental and analytical studies, we can calculated the amount of difference between die and forged part, that is 0.49% based on the die dimension. The dimensional change is smaller than that of general sized-forged part, 0.6%.

Key Words : Dimensional changes, SUS, FEM, Formability, Precision cold forging

1. 서 론

지난 수년간 전자, 의료산업 등의 분야의 획기적인 발전과 부품·소재산업의 발전으로 고정도, 고품질의 미세기계부품에 대한 수요가 점차 증가되어 미세성형품은 부가가치가 큰 산업으로 인식되고 있다. 그에 따른 미세성형품에 대한 수요의 증가와 함께 성능 및 기능의 고급화에 대한 요구, 가격인하에 대한 요구도 증가하고 있다. 정밀한 냉간 단조는 기계가공과정을 감소시켜 소재를 절감하고 공정의 축소로 생산가격을 낮출 수 있는 이점이 있다. 냉간단조로 품질이 우수한 미세성형품을 제조하기 위해서는 무엇보다도 정밀치수를 안정적으로 생산할 수 있는 관련기술의 확보가 가장 중요한 사항이다. 소재에 작용하는 응력

이 큰 냉간 단조는 단조공정 과정에서 단조품의 치수변화가 크게 발생되는데 제품의 치수 제어의 중요도가 일반 단조품 비해 높은 미세성형품의 경우 치수정밀도 향상을 위해서는 정밀냉간단조시 치수변화의 정밀 분석이 보다 중요하게 작용된다.

전자부품 가운데 하나인 핀 힌지(Pin hinge)는 기계부품과 부품의 위치를 고정하기 위해 이 두 부품을 관통하는 구멍을 통해서 고정하는 기계요소이다. 본 연구에서는 유한요소해석 프로그램을 이용하여 핀 힌지의 냉간 단조 공정 동안의 치수를 분석하고 이를 실제 실험과 같이 수행하여 해석과 실제 단조품의 치수를 비교분석하고, 단조금형과 단조품간의 치수차이를 정량화하였다.

1. 한국기계연구원 소성응용연구그룹

2. 한국기계연구원 융합공정연구부

교신저자: 한국기계연구원 소성응용연구그룹,

E-mail: lys1668@kims.re.kr

2. 실험 및 유한요소해석

2.1 실험

핀 힌지의 정밀냉간단조 시 단조 공정 동안에 단조품의 치수 변화를 분석하기 위해 실험과 해석은 동일한 조건으로 수행하였다.

동일한 성형과정을 가진 공정에서도 금형의 구조는 다양하다. 금형의 재질이나 분할위치, 억지 끼워맞춤 등이 다른 것으로 금형이 받는 응력 및 금형의 수명은 크게 변화한다. 실험에 사용된 금형은 인서트 세로 분할형으로 금형의 응력집중을 감소시키고 있다.

실험에 사용된 소재는 두께 $\varnothing 0.95\text{mm}$, 높이 2.29mm 의 SUS302 와이어(Wire)로 50ton 유압프레스로 냉간 단조 실험을 수행하였다. Fig 1은 실험에 사용된 펀치(Punch), 다이(Die), 다이 홀더(Die holder)와 인서트 핀(Insert pin)이다.

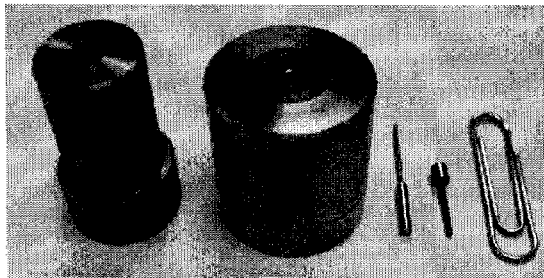
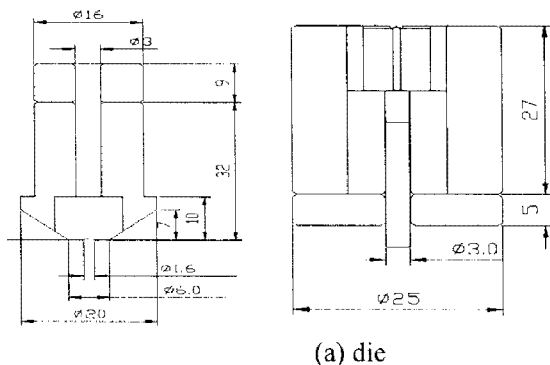


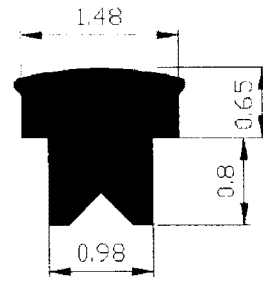
Fig. 1 Photo of die for pin hinge

2.2 유한요소해석

소재의 성형해석은 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D를 이용하였다. Fig. 2는 핀 힌지의 제품도와 금형도를 나타내고 있다.



(a) die



(b) part

Fig. 2 Drawing of die and pin hinge

해석에서는 소재 내 잔류응력과 금형과 단조품의 응력 차로 발생하는 단조품의 치수 변화를 분석하기 위해 가압(Loading), 제하(Unloading), 취출(Ejecting) 순으로 핀 힌지의 탄소성 성형 해석을 진행하였다.

핀 힌지의 유한요소해석에서는 냉간단조 공정 동안에 발생하는 치수의 변화를 실제와 동일한 조건에서 분석하기 위해 다이와 다이홀더를 열박음(Shrink fit)조건을 고려하여 해석하였고 금형은 강재, 단조품은 탄소성체로 간주하여 탄소성 유한요소해석(DEFORM-2D)을 하였다.

아래 Table 1의 (a)는 열박음 해석시 사용한 금형의 물성치이다. Table 1의 (b)는 성형 해석시 사용한 단조소재의 물성치를 나타내고 있다.

Table 1 (a) Material properties of die, (b) Material properties of workpiece

Material data	Die
Young's modulus (MPa)	524002
Poisons ratio	0.23
Thermal expansion ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	6.3e-006
Thermal conductivity (N/s $^{\circ}\text{C}$)	82.2404
Heat capacity (N/mm 2 $^{\circ}\text{C}$)	5.7945
Emissivity	0.7

(a)

Material data	Workpiece
Young's modulus (MPa)	206754
Poisons ratio	0.3
Thermal expansion ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	1.2e-005
Emissivity	0.7

(b)

Table 2는 소재 SUS 302의 화학 조성표이다.

3. 결과 및 고찰

Table 2 Chemical composition of SUS 302 (wt.%)

Alloy (%)	Cr	C	Mn	Ni	P
SUS302	18	0.15	2	9	0.2

단조품의 치수변화에 영향을 미치는 소재 내 잔류응력을 고려하기 위해 실제의 단조공정과 동일하게 가압, 제하, 취출 공정의 순으로 해석을 진행하였다. Table 3는 편 힌지 해석공정 동안 소재의 타입을 표로 나타낸 것이다.

Table 3 Analysis Conditions on whole forging stages

Process	Loading	Unloading	Ejecting
Die	Rigid	Rigid	Rigid
Washer	Rigid	Rigid	Rigid
Forged tool	Elasto-pastic	Elasto-pastic	Elasto-pastic

편 힌지의 해석에서 소재는 탄소성(Elasto-plastic) 물성을 이용하였고, 요소는 Quads mesh로 20000개로 분할하였다. 절점(Node)간 거리는 0.004mm이다. 가압과 제하의 편치이동속도는 100mm/sec으로 가정하였고 소재와 금형의 마찰계수(Friction)는 전단 마찰계수로 0.08의 값을 적용하였다. Fig. 3은 편 힌지의 소재 내 변위의 움직임을 단조 공정 순으로 보여주는 그림이다.

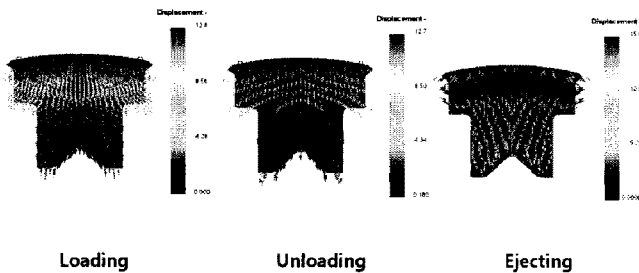


Fig. 3 Deformation velocity field of forged part

Fig. 4는 편 힌지의 가압 시의 하중을 그래프로 나타내었다.

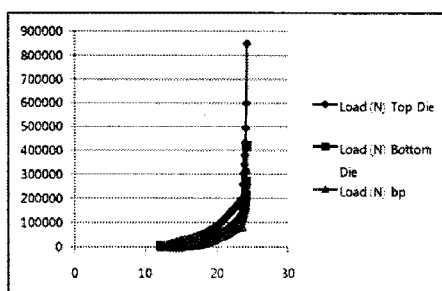


Fig. 4 Calculated load forging stage

3.1 단조품의 탄성회복과 치수분석

편 힌지를 (a), (b), (c) 부분으로 나누어 각 공정별로 치수의 변화를 살펴보았다. 편 힌지의 축의 수직인 방향 방향에서는 취출 시 소재의 탄성 변형이 크고 축 방향에서는 제하 시 탄성변형이 크게 나타남을 알 수 있다.

실험과 해석을 동일한 조건으로 수행한 후 3개의 각 공정들의 단조품 형상과 실험 후 실제 단조품의 치수를 (a), (b), (c) 부분으로 나누어 각각 치수의 변화를 살펴보았다. Fig 5에서는 취출 후의 치수를 나타내고 있는 것으로 실제 실험에 의해 측정된 단조품 치수와 좋은 일치를 나타내고 있음을 알 수 있다.

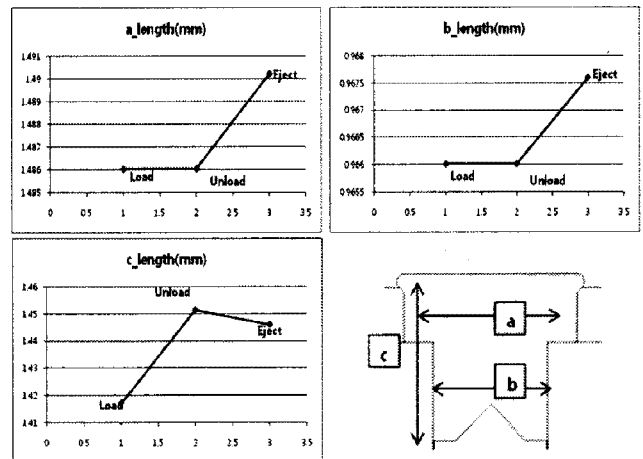


Fig. 5 Dimension changes on process

편 힌지의 탄소성 해석에서 가압 시와 취출 후의 치수의 차이를 X축과 Y축의 좌표 값으로 도출하였다.

단조품을 다섯 부분으로 나누어 X축 변형을 살펴보면 Fig. 6에 나타나 있는 바와 같이 (1)에서 3.87 μ m, (2)에서 2.2 μ m, (3)에서 1.03 μ m, (4)에서 0.962 μ m, (5)에서 4.7 μ m의 탄성회복을 보이고 Y축으로 변형을 살펴보면 (1)에서 21.587 μ m, (2)에서 15.832 μ m, (3)에서 11.018 μ m, (4)에서 8.435 μ m, (5)에서 5.253 μ m의 탄성회복을 나타내었다. 이들을 평균값으로 정리하면, X축으로 2.55 μ m, Y축으로 12.4 μ m이고 X·Y 전체의 평균 치수변화는 7.475 μ m 수준을 나타내고 있다.

공정별 치수변화를 평균값을 기준으로 정리하

면, 가압 시의 치수를 기준으로 제하, 취출, 실 단조품의 치수변화를 %로 나타내면 제하 시 0.809% 치수증가, 취출 시 0.830% 치수증가, 실 단조품의 경우 0.817%의 치수증가를 나타낸다.

Fig 7은 단조품의 부위별 치수변화를 5개 구분하여 부위별로 비교한 그래프이다.

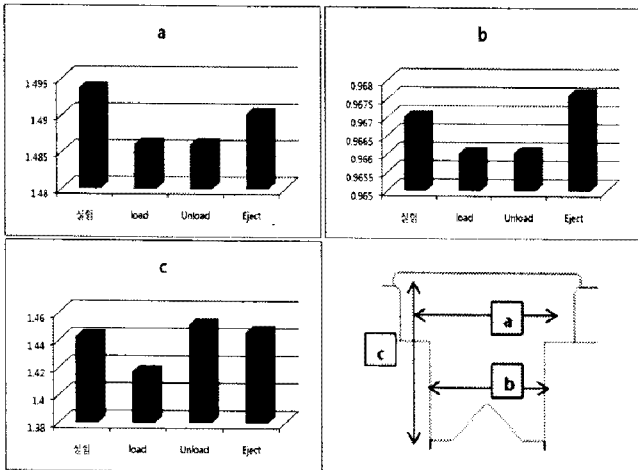


Fig. 6 Comparisons of dimension changes between experiment and analytical solution

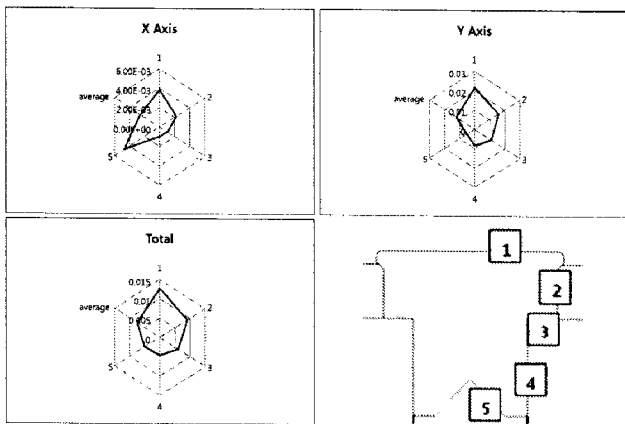


Fig. 7 Compare x-axis with y-axis

미세성형품의 치수변화에 대한 정량적인 분석과 함께 일반적인 치수를 갖는 냉간단조품과의 상대비교를 위해 그 차이를 비교해 보았다. 문헌 [7]에서 분석한 치수변화를 편 힌지의 치수변화와 같은 비율로 비교해보면 일반적인 냉간단조품은 Fig.8과 Fig.9에 나타나 있는 바와 같이 0.006mm의 평균치수변화를 편 힌지는 0.005mm의 평균치수변화를 나타내고 있다.

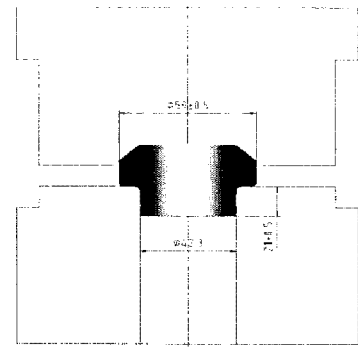


Fig. 8 Model for general cold die forging from [7]

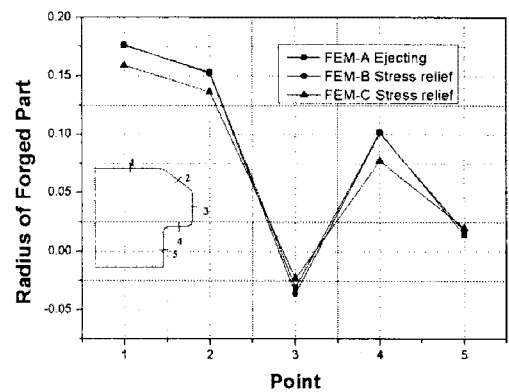


Fig. 9 Dimensional changes workpiece of FEM method and dimensional changes open die from [7]

4. 결론

미세성형품의 정밀냉간단조 시 단조품의 치수변화를 분석한 결과 미세성형품의 각 부분의 치수변화를 수치적으로 확인할 수 있었다. 편 힌지의 경우 가압 이후의 탄성회복량은 Y축으로 더 많은 치수변화를 나타내고 있었으며 X·Y 전체의 평균 치수변화는 7.475 μ m임을 알 수 있었다.

단조품의 부위별(5-point) 치수측정을 통해 X축 변형과 Y축 변형의 평균 치수변화량을 분석한 결과 일반적인 크기(mm단위)의 냉간단조품은 0.006mm, 미세성형품은 0.005mm의 평균치수변화를 나타내었다. 일반적인 냉간단조품에 비해 매우 상대적으로 적은 치수변화를 나타내고 있고, 이는 탄성범위 내에서 금형에 가해지는 작용압력이 작기 때문으로 판단된다. 그러나, 제품 크기 대비 치수변화를 고려하고 요구하는 치수정밀도가 μ m 단위임을 감안할 때 보다 세밀한 치수제어가 요구됨을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 부품소재기술지원 사업의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 이영선 외, “냉간단조용 금형 수명에 미치는 공정변수의 영향”, 한국소성가공학회 2005 춘계학술대회 논문집, pp215-218
- [2] John Walters, Wei-Tsu Wu, Anand Arvind, Guoji Li, Dave Lambert Tang, 2000, “Recent development of process simulation for industrial applications”, *J. of Materials Processing Technology* 98, pp205-211
- [3] Y.S.Lee, J.H.Lee, Y.N.Kwon, T.Ishikawa, 2004, “Experimental and FE analysis to predict the dimensional changes of workpiece and tool in cold forging”, *Proc. of Int. Conf. NUMIFORM2004*, pp.504-509
- [4] J.R.Cho, W.J.Kang, M.G.Kim, J.H.Lee, Y.S.Lee, W.B.Bae, 2004, “Distortion induced by heat treatment of automotive bevel gears”, *J. of Materials Processing Technology*, Vol.153-154, pp.476-481
- [5] Y.S.Lee, J.H.Lee, Y.N.Kwon, T.Ishikawa, 2004, “FE-modeling approaches to accurate dimension prediction for the cold forged part”, *J. of Engineering Manufacture B*, Vol. 218, pp.1709-1722
- [6] 이영선 외, “미세성형품의 치수변화에 미치는 공정변수의 영향”, 한국정밀공학회 2008 춘계학술대회 논문집, pp389-390
- [7] 이영선 외, “냉간단조의 Ejecting 공정이 치수정밀도에 미치는 영향”, 한국소성가공학회 2004 추계학술대회 논문집, pp338-341