

재료이용률 향상을 위한 인젝터 하우징의 정밀냉간단조공정 유한요소해석

김현민¹ · 박용복² · 박성영[#]

Finite Element Analysis of Precision Cold Forging Process to Improve Material Utilization for Injector Housing

H. M. Kim, Y. B. Park, S. Y. Park

(Received February 17, 2011 / Revised May 3, 2011 / Accepted June 21, 2011)

Abstract

The injector housing has two functions, namely, positioning the injector and protecting it from coolant. The conventional manufacturing process of the injector housing by machining has some drawbacks such as considerable loss of material and environmental pollution caused by excessive use of cutting oil. In this paper, precision cold forging is proposed as a new manufacturing process in order to improve these issues. A numerical study was conducted to compute the metal flow, strain, load and other process variables using DEFORM-2D, a finite element analysis(FEA) code for metal forming. Two process methods were investigated and optimal conditions were computed with the FEA code. A prototype was manufactured from the optimal process method and the metal flow and hardness were obtained from the prototype.

Key Words : Precision Cold Forging, FEA, Injector Housing, Optimal Process

1. 서 론

소성가공 산업은 차세대 성장동력 유형 중 주력기간 산업에 속하는 산업으로, 신기술을 융합하여 지속적인 발전을 이루어왔다. 특히 자동차, 항공, 조선 분야의 수송기계 및 풍력, 일반산업기계류 분야의 근간 기술을 형성하고 있다.

자동차용 인젝터 하우징(Injector Housing)은 인젝터를 제 위치에 유지시키고, 냉각수로부터 인젝터를 보호하는 기능을 가지고 있다. 기존의 인젝터 하우징의 절삭가공 공정은 원재료의 높은 손실을 유발한다. 또한 가공 공정 중 절삭유의 과다 사용에 따른 환경오염문제가 대두되고 있다. 인젝터의 높은 압력으로 체결부위와 노즐부위의 심한 마모

등의 문제점도 확인되었다. 이에 정밀냉간단조를 실시함으로써 기존의 소재 $\varnothing 26.4 \times 71.7$ 에서 $\varnothing 26.0 \times 29$ 로 약60%의 재료이용률을 달성하였다.

본 논문이 제안한 새로운 공정설계 방안은 기존의 절삭공정의 재료이용률의 한계를, 정밀냉간단조의 전·후방 압출비를 고려하여 이용률을 증가시켰다.

냉간단조시 금형 내부의 소재 유동은 금형의 형상, 금형과 소재의 마찰, 금형내의 압력에 따라 변화하며, 잘못된 공정설계에 따른 금형형상은 제품의 미충진과 접힘 현상이 발생되어 결함으로 이어진다. 이러한 결함을 제품의 공정설계 초기에 예측하고 방지할 수 있는 것은 중요한 과제이다 [1]. 또한 냉간단조는 일반적으로 초기성형공정을

1. 공주대학교 일반대학원 기계자동차공학부 기계공학

2. 공주대학교 기계자동차공학부 기계설계공학

교신지자: 공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학,

E-mail: sungyoung@kongju.ac.kr

포함한 다단계 공정으로 이루어진다[2]. 그러므로 최적 공정 설계는 필수적이다. 본 연구에서는 다 단 공정에서 소재의 변형모드, 변형률, 하중을 확인하기 위해 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D를 이용하였다[3]. 실제 공정과 동일한 조건을 부여하여 해석을 수행하였으며, 해석 완료 후 제품의 각 부위에 발생하는 변형모드, 변형률을 분석하였다[4]. 또한 냉간단조 공정에서 생산된 제품의 강도는 110kg/mm²이상 요구되기 때문에 제품을 절단하여 경도를 측정하였다.

2. 하우징 설계 및 유한요소해석

2.1 단조품 설계

Fig. 1은 상용 디젤차에 적용되는 하우징의 가공도면으로 점선으로 표시된 부분은 완성된 제품을 표시하며, 실선은 단조 가공을 위한 치수를 나타낸다. 단조 치수중 상단부의 14.5mm는 단조 후 가공을 위한 최소의 치수이다. 단조 완료 후 체적은 12538.86mm³이다.

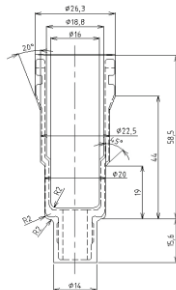


Fig. 1 Dimensions of product and forging

2.2 예비공정해석

인젝터 하우징의 초기소재 크기는 Ø26*L29이며, 물성은 SUS410 이고 유동응력식은 다음과 같다[5].

$$\bar{\sigma} = 960\bar{\epsilon}^{0.1} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

냉간단조 유한요소해석 시 축대칭으로 해석하였고, Fig. 2는 인젝터 하우징이 한번의 공정으로 성형이 가능한지 예측하기 위해 해석한 결과를 보여준다. 그 결과 상단부분에 기준치수 14.5mm를 충족시키지 못한, 10.5mm가 성형되는 결함이 발생하여 공정 추가가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 공정 추가에 따른 가공경화로 성형성

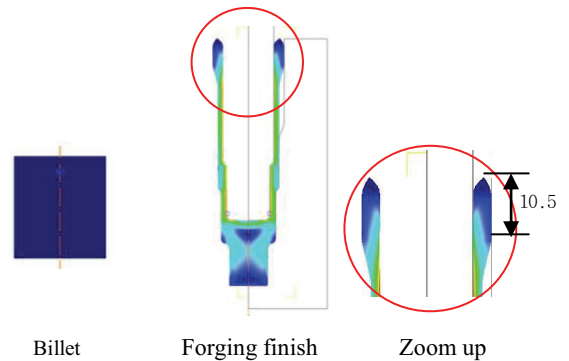


Fig. 2 Longitudinal dimension defect of upper part at one-stage forging

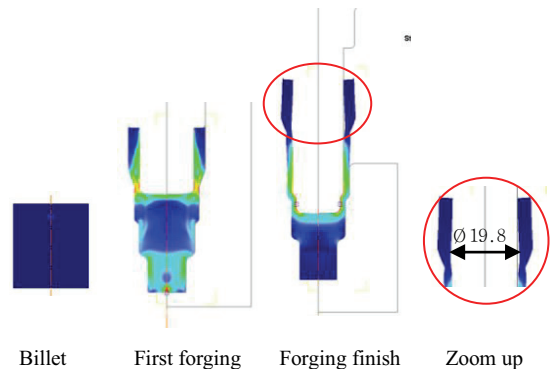


Fig. 3 Diametral dimension defect of upper part at two-stage forging

이 용이하지 못하므로 소둔 처리를 해서 다음 공정을 진행한다.

Fig. 3은 공정을 추가해 성형해석을 실시하였는데, 상단부 내경의 기준치수 Ø16mm를 넘는 Ø19.8mm가 성형되는 결함이 발생하였다. 결함을 제거하기 위해서는 상단부의 성형을 1차 공정에서 완성시키는 것이 필요하다.

2.3 본공정해석

앞에서의 각 예비 기초해석결과를 토대로 Fig. 4의 새로운 공정설계안을 제시하였다.

제시된 공정설계를 기초로 해석 시 2차 공정에서 성형결함이 발생하는데, Fig. 5(b)는 제품의 결함을 단적으로 보여주고 있다.

Fig. 5(b)의 결함은 1차 공정 완료 후 Fig. 5(a)에서와 같이 2차 공정을 진행함에 따라 접히는 결함이 발생한다. 아래의 두 가지의 수정방법을 제시한 이유는 Fig. 5(b)의 결함을 해소하기 위해, 1차

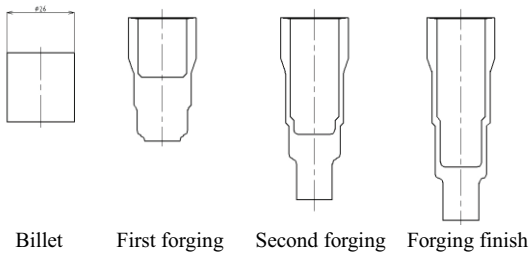
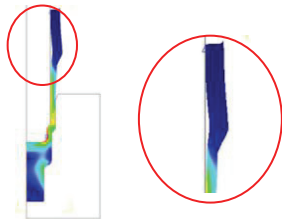


Fig. 4 Process design with three-stage

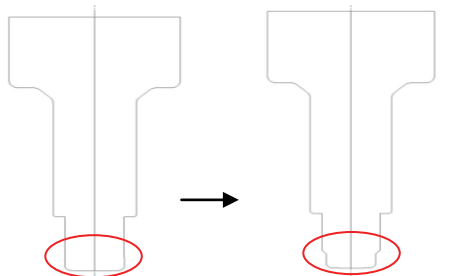


(a) second forging process

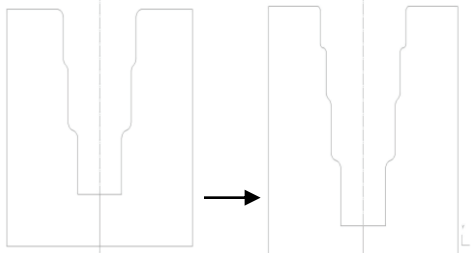


(b) Fold defect at second forging

Fig. 5 Defect of second forging

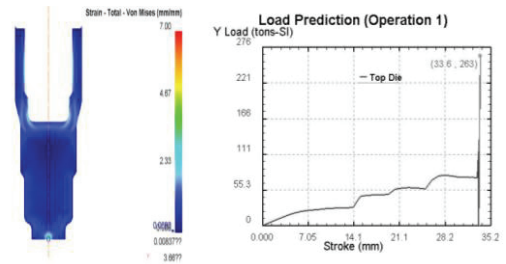


(a) Modification of punch shape at first forging

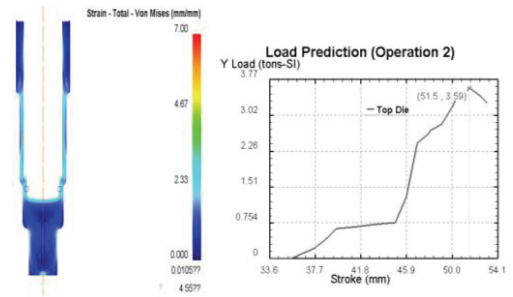


(b) Modification of die shape at second forging

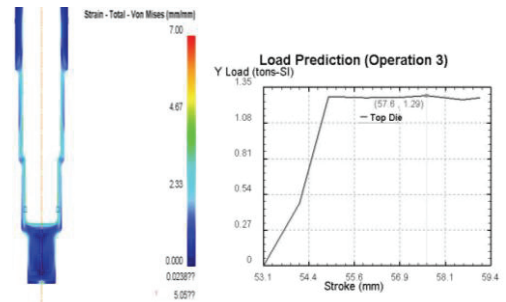
Fig. 6 Modification of punch and die shapes at each forging



(a) First forging



(b) Second forging



(c) Forging finish

Fig. 7 Distributions of effective strain and load at first process method

공정 후 2차 공정 진행간에 소재의 유동을 올바르게 유도하거나, 1차 공정에서 전방 압출량을 증가시키므로써 미리 성형한 상단부가 금형안으로 유입 되는것을 방지하기 위해 검토되었다.

2.3.1 수정된 제1공정

수정된 제1공정은 Fig. 6(a)에 나타난 것처럼 1차 공정의 펀치를 2차 공정과 동일한 형상으로 만들고, Fig. 6(b)에서 2차 공정 금형의 형상을 수정하였다.

Fig. 7은 펀치와 금형 형상을 수정한 후 각 공정에서의 유효변형률과 하중을 각각 보여주고 있다.

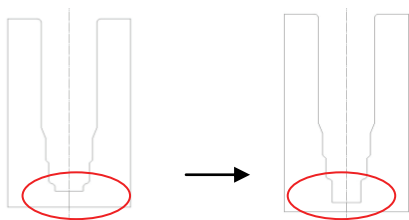
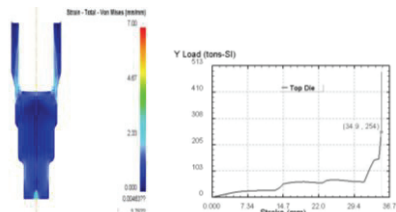
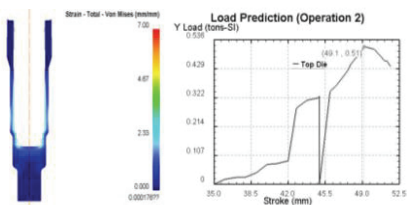


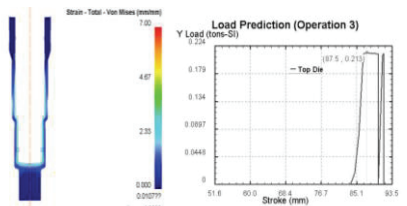
Fig. 8 Modification of die shape at first forging



(a) First forging



(b) Second forging



(c) Forging finish

Fig. 9 Distribution at effective strain and load at second process method

1차 공정에서 하중은 263.0ton이 작용한다. 1차 공정에서 마지막 단계에 하중이 급격히 증가한 이유는 밀폐단조로 공정을 수행했기 때문이며, 2차 공정과 3차 공정은 개방형단조로 수행해서 낮은 하중이 작용하였다. 1차 공정, 2차 공정 및 3차 공정사이에는 소둔을 실시함으로 잔류변형을 제거한 후 해석을 수행하였다.

2.3.2 수정된 제2공정

수정된 제2공정은 1차 공정 금형 형상을 수정

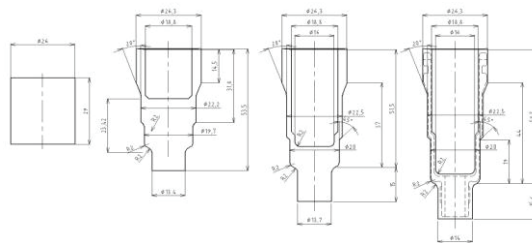


Fig.10 Optimal process design for precision cold forging of injector housing



Fig.11 Products of forging at each stage

하는 방법으로, Fig. 8에서 보는 것과 같이 기존의 공정에서 하단부의 길이를 늘려 전방 압출량을 증가시키도록 수정하였다. 이후 2차 및 3차 공정은 Fig. 4에서 제시된 공정설계를 기초로 해석을 수행하였다.

Fig. 9는 각 공정에서의 유효변형률과 하중을 보여주고 있다. 1차 공정의 경우 254ton의 하중이 작용한다. 또한, 현재 실험을 위한 보유장비의 용량이 500ton 프레스이므로, 해석의 타당성 검증을 위해서는 충분하다고 판단된다.

수정된 제1공정과 제2공정 모두, 제품의 성형에는 문제가 없었으나, 기존의 펀치와 금형의 수정을 최소화하면서 전방 압출량의 증가만으로 결함을 제거시킨 수정된 제2공정의 설계안이 반영된 Fig. 10이 최적의 공정설계 방법이라고 제시할 수 있겠다.

3. 인젝터 하우징 단조실험 및 분석

Fig. 11은 Fig. 10에서 제시한 최적 공정도를 바탕으로 생산한 인젝터 하우징을 각 공정별로 보여주고 있다. 시제품을 생산하는데 특별한 문제점은 발견되지 않았다. 인젝터 하우징의 냉간단조 공정 후 소재의 유동성과 경도를 측정하는 것은 제품의 결함을 확인하는데 매우 중요한 역할을 한다. Fig. 12는 각 공정별 해석 시 변형률이 높은

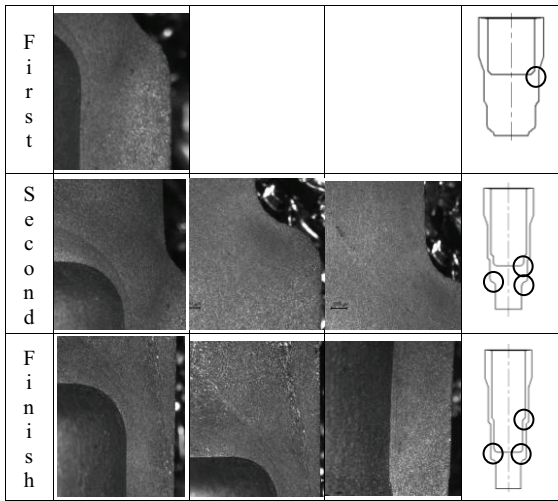


Fig.12 Flow patterns of products at each forging

	Photograph	Position	Hardness(kg/mm ²)
F i r s t		1	158
		2	158
		3	150
S e c o n d		1	130
		2	159
		3	158
F i n i s h		1	114
		2	143
		3	130

Fig.13 Hardness measurement of products at each forging

영역의 소재유동성을 보기 위하여 시제품을 생산한 후 연마하여 찍은 사진이다. 제품의 접힘이나 겹침은 보이지 않는다

Table 1 improvement Material Utilization

	Billet(mm)	Volume(mm ³)	Note
Cutting	∅26.4 × 71.7	39248	
Forging	∅26.0 × 29.0	15397	60%↓

Fig. 13은 최종제품의 적용 시 응력이 집중적으로 발생하는 부위에 대하여 각 공정별 Brinell 경도값을 보여준다.

4. 결론

인젝터 하우징의 냉간단조공정을 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D로 해석하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 기존의 절삭공정으로부터 냉간단조공정으로 변경함으로써 약60%의 원재료가 절감되었다.
- (2) Deform-2D를 이용하여 전산모사를 한 후 시제품을 생산함으로써 결함을 제거하고, 최적 공정설계를 완성하였다.
- (3) 제품의 유동성 측정에서는 미결육과 미충진 접힘이 보이지 않았다. 경도측정에서는 제품에 필요한 강성이 확보되었다.

참 고 문 헌

- [1] D. J. Kim, B. M. Kim, 1999, Process Design to Prevent Internal & External Defects of Cold Extruded Products with Double Ribs, Trans. Mater. Process., Vol. 8, No. 6, pp. 312~619.
- [2] Y. S. Chang, J. H. Choi, B. D. Ko, H. Y. Lee, B. B. Hwang, 2000, A Study on the Process Sequence Design of a Short-Neck Flange, J. Kor. Soc. Process. Engineering., Vol. 17, No. 6, pp. 127~134.
- [3] DEFORM User's Manual V9.1, Scientific Forming Technologies Cooperation.
- [4] D. C. Ko, B. M. Kim, J. C. Choi, S. W. Oh, 1996, Process Sequence Design in Cold Forged Part of Hub, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. Vol. 20, No. 11, pp. 3387~3397.
- [5] K. H. Park, H. T. Yeo, K. D. Hur, 2004, Forming Process Design of Fuel Injector Housing by Response Surface Method, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 311~314.